

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL

WAGNER LUIS RIPKA

**ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA PARA PREDIÇÃO DE VOLUME E
COMPORTAMENTO RESPIRATÓRIOS EM ADOLESCENTES**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA
2012

WAGNER LUIS RIPKA

**ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA PARA PREDIÇÃO DE VOLUME E
COMPORTAMENTO RESPIRATÓRIOS EM ADOLESCENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de “Mestre em Ciências” – Área de concentração: Engenharia biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Gewehr
Co-Orientador: Profa. Dra. Leandra Ulbricht

CURITIBA
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R588 Ripka, Wagner Luís
Análise fotogramétrica para predição de volume e comportamento respiratórios em adolescentes / Wagner Luís Ripka. – 2012.
76 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Pedro Miguel Gewehr.

Coorientadora: Leandra Ulbricht.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Curitiba, 2012.

Bibliografia: f. 52-64

1. Fotogrametria. 2. Espirometria. 3. Adolescentes. 4. Aparelho respiratório – Análise. 5. Engenharia biomédica. 6. Engenharia elétrica – Dissertações. I. Gewehr, Pedro Miguel, orient. II. Ulbricht, Leandra, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

CDD (22. ed.) 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Campus Curitiba

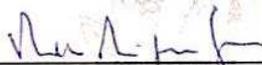
Título da Dissertação Nº. 614

“Análise Fotogramétrica para Predição de Volume e Comportamento Respiratórios em Adolescentes”

por

Wagner Luis Ripka

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: Engenharia Biomédica, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Sede, às 14:00h do dia 15 de outubro de 2012. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:



Prof. Pedro Miguel Gêwehr, Dr.
(Presidente – UTFPR)



Prof. Luis Paulo Gomes Mascarenhas, Dr.
(UnC)



Prof. Bertoldo Schneider Junior, Dr.
(UTFPR)



Prof. Gilberto Branco, Dr.
(UTFPR)

Visto da coordenação:



Prof. Ricardo Lüders, Dr.
(Coordenador do CPGEI)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a todas as dificuldades que surgiram em meu caminho, pois se não fosse por elas eu não teria saído do lugar. Agradeço muito aos meus pais, Luis e Lourdes Ripka, por incentivar e possibilitar meu constante estudo. Aos meus irmãos, Thaís e Gabriel Ripka, por estarem junto comigo em mais esta etapa da vida.

Aos meus orientadores, professor Pedro Miguel Gewehr e professora Leandra Ulbricht que com seu vasto conhecimento e paciência possibilitaram essa conquista, dedicando tempo, atenção e incentivo. Agradeço de maneira especial aos professores que me auxiliaram desde a graduação até os dias de hoje, obrigado.

Aos meus amigos os mais sinceros agradecimentos. Considero-me uma pessoa com uma vida notável, pois tenho ao meu redor amigos fantásticos. Obrigado a Peterson Pereira da Silva, pelas incansáveis horas de conversas, risadas e diversão; Luiz Carlos Maceno, amigo de longa data que sempre buscou me apoiar, me questionar e me ajudar de sua maneira, além de outros nomes como: Jéssica Volpe, Cristiano Rotta, Renato Cazula, Juliano Volpini, Mayara Midori e Eduardo Esmanhoto, a todos meu muito obrigado por fazerem parte da minha vida.

Por fim agradeço a aquela que me mostrou a importância do “*Hoje!*”, me fazendo acreditar que ele sempre é o dia certo, pra sentir, fazer, expressar e lutar tudo o que sinto e acredito, pois para quem quer nada é difícil. Obrigado a Jéssica Keppen.

“Existe na vida algo pior que o fracasso: não haver tentado nada”

Franklin Roosevelt

RESUMO

RIPKA, Wagner Luis. **Análise Fotogramétrica Para Predição De Volume E Comportamento Respiratórios Em Adolescentes**. 2012. 77 f. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Introdução: Diversas são as maneiras de se avaliar o sistema respiratório, entre elas destacam-se a pletismografia por indutância e análises cinemáticas tridimensionais, métodos de custo elevado e difícil transportabilidade. O emprego de um método alternativo baseado em imagem fotográfica (fotogrametria) emerge em um contexto como instrumento de baixo custo e de fácil transporte para análises respiratórias. **Objetivo:** o objetivo geral deste estudo consistiu em correlacionar volumes respiratórios obtidos por equipamento padrão de espirometria com um modelo biomecânico de análise fotogramétrica em jovens sem obstruções ou restrições respiratórias. **Metodologia:** foram avaliados 40 indivíduos (19 meninos e 21 meninas) com idade entre 14 e 17 anos. Foram excluídos indivíduos que apresentaram algum tipo de obstrução ou restrição respiratória. Realizou-se, com a utilização de marcadores adesivos, um mapeamento de superfície em cinco pontos anatômicos: projeção da cicatriz umbilical ou onfálica (COd), ângulo inferior da 10ª costela (ACd), projeção do manúbrio do esterno (MEd), projeção da apófise xifóide do esterno (AXd) e espinha íliaca ântero-superior direita (EId). Com cada avaliado na posição decúbito dorsal, solicitou-se o teste de Capacidade Vital Forçada (CVF) em um espirômetro modelo *Care Fusion - Microloop*. O teste foi repetido e filmado três vezes. Dos filmes foram extraídas imagens referentes ao momento de máxima expiração e inspiração para tratamento fotogramétrico da prova com melhores índices respiratórios. Com o uso de um programa disponível no mercado foram definidas áreas e volumes pulmonares para regiões do tórax superior e inferior e abdômen superior e inferior. Além do teste espirométrico realizaram-se coletas da massa corporal, estatura, gordura corporal e comprimento torácico. **Resultados:** a idade média do grupo foi de $15,40 \pm 0,98$ anos. Para massa corporal, estatura, percentual de gordura e comprimento torácico encontraram-se valores médios de $61,29 \pm 12,27$ kg, $1,66 \pm 0,09$ m, $22,70 \pm 6,49\%$ e $25,54 \pm 1,87$ cm, respectivamente. Ao comparar meninos e meninas apenas para a idade, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa. A análise fotogramétrica encontrou valores correlacionado, com as medidas espirométricas da CVF, Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), Pico de Fluxo Expiratório (PFE) além da Inspiração realizada pós teste (IP). Encontrou-se maior mobilidade ventilatória em meninos quando comparados às meninas para região de Tórax Inferior, Abdômen Superior e Abdômen Inferior. Foi possível chegar a uma regressão com $R^2 = 0,866$ para prova de CVF e $R^2 = 0,776$ para IP com uso da fotogrametria, apresentando um erro padrão de 0,353 e 0,451, respectivamente. **Conclusão:** A fotogrametria para estudos de movimentos toracoabdominais por meio da aplicação de análises bidimensionais e tridimensionais em imagens adquiridas com a utilização de câmera filmadora se mostrou uma ferramenta útil, aplicável e reproduzível. Foi possível verificar um tipo de comportamento respiratório em adolescentes e associar as medidas obtidas na imagem com os valores mensurados com o uso do espirômetro. Também foi possível estimar o valor da CVF e do volume de ar inspirado em manobra de inspiração profunda.

Palavras-chave: Análise Respiratória; Fotogrametria; Espirometria; Adolescentes.

ABSTRACT

RIPKA, Wagner Luis. **Photogrammetric Analysis For Prediction Of Respiratory and Volume Behavior in Adolescents**. 2012. 77 p. Dissertation – Graduate Program in Electrical Engineering and Computer Science, Federal University of Technology - Paraná. Curitiba, 2012.

Introduction: There are several ways to evaluate the respiratory system, among them inductance plethysmography and three-dimensional kinematic analysis, methods of high cost and difficult transportability. The use of an alternative method based on the photographic image (photogrammetry) emerges as an instrument of low cost and easy transportation for respiratory analysis. **Objective:** The objective of this study was to correlate respiratory volumes obtained by spirometry standard equipment with a biomechanical model photogrammetric analysis of adolescents. **Methods:** 40 patients (19 boys and 21 girls) were evaluated, aged between 14 and 17 years. Individuals who showed some sort of respiratory obstruction or restriction were excluded. With the markers stickers, a mapping in five anatomical landmarks: projection of the umbilicus (Cod), inferior angle of 10th rib (ACd), projection of sternum manubrium (MEd), sternal xiphoid projection (AXd) and right spine iliac (EId). With each subject assessed in supine position, tests the Forced Vital Capacity (FVC) were requested, using a spirometer Care Fusion - Microloop. The test was repeated three times and filmed. Images of the films were extracted for the moment of maximum expiration and inspiration for photogrammetric processing of proof with better breathing. With the use a program commercially available, areas and lung volumes were defined for the region of upper and lower chest, as well as top and bottom abdomen. In addition to spirometric test body weight, height, body fat and thoracic length were measure. **Results:** the mean age was 15.40 ± 0.98 years. For body mass, height, fat percentage and thoracic length, average values of 61.29 ± 12.27 kg, 1.66 ± 0.09 m, $22.70 \pm 6.49\%$ and 25.54 ± 1.87 cm were found, respectively. When comparing boys and girls at the age difference was not found statistically significant. The photogrammetric analysis has found values strongly correlated with the spirometric measurements of FVC, forced expiratory volume in one second (FEV_1), Peak Expiratory Flow (PEF) in addition to post test performed Inspiration (IP). There was a higher ventilatory mobility for boys than girls for Lower Chest and Lower and Upper Abdomen. It was possible to reach a regression $R^2 = 0.866$ for proof of FVC and $R^2 = 0.776$ for IP with the use of photogrammetry, presenting a standard error of 0.353 and 0.451, respectively. **Conclusion:** photogrammetry can be used to study thoracoabdominal movements by applying analytical two-dimensional and three-dimensional images acquired using a video camera being, applicable and reproducible. It was possible to verify respiratory behavior in adolescents including measurements on the image with the values measured using the spirometer. It was also possible to estimate the value of FVC and volume of air breathed in deep inspiration maneuver.

Key words: Respiratory Analysis, Photogrammetry, Spirometry, Adolescents.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Duas dimensões ou bidimensional
3D	Três dimensões ou tridimensional
AB	Abdômen
ABI	Abdominal Inferior
ABS	Abdominal Superior
ABT	Abdominal Total
Atotal	Área Total, soma dos compartimentos.
CI	Capacidade inspiratória
CRF	Capacidade residual funcional
CPT	Capacidade pulmonar total
CV	Capacidade vital
CVF	Capacidade vital forçada
FEF ₂₅₋₇₅	Taxa de fluxo expiratório forçado entre 25 e 75% da capacidade vital forçada
IMC	Índice de Massa Corporal
IP	Inspiração Profunda
OMS	Organização Mundial da Saúde
PFE	Pico de fluxo expiratório
PT	Parede torácica
R	Coefficiente de correlação
R ²	Coefficiente de determinação
TX	Tórax
TXS	Tórax Superior
TXI	Tórax Inferior
TXT	Tórax Total
VER	Volume expiratório de reserva
VEF ₁	Volume expiratório forçado no primeiro segundo
VIR	Volume inspiratório de reserva
VR	Volume residual
VC	Volume corrente

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. MODELO DAS PRIMEIRAS APLICAÇÕES DA ANÁLISE POR CINEMETRIA EM ESTUDO SOBRE MOVIMENTOS ANIMAIS E MOVIMENTOS DE SERES HUMANOS ELABORADOS POR EADWEARD MUYBRIDGE.....17
- FIGURA 2. MOVIMENTOS RESPIRATÓRIOS. AÇÕES DIAFRAGMÁTICAS E COSTAIS PARA O MOMENTO DE INSPIRAÇÃO (A), ONDE NOTA-SE EXPANSÃO NO SENTIDO LATERO-LATERAL E ÂNTERO-POSTERIOR. PARA O MOMENTO DE EXPIRAÇÃO (B) TÊM-SE O RETORNO PARA A POSIÇÃO NATURAL.....18
- FIGURA 3. ILUSTRAÇÃO DA CAIXA TORÁCICA E OS ELEMENTOS QUE A LIMITAM: CARTILAGEM COSTAL, OSSO ESTERNO E JUNÇÕES PARA VISTA ANTERIOR, COSTELAS NA VISTA LATERAL E VÉRTEBRAS NA PARTE POSTERIOR.....19
- FIGURA 4. REPRESENTAÇÃO DA MOBILIDADE DAS COSTELAS NO SENTIDO ÂNTERO-POSTERIOR (MOVIMENTO BRAÇO DE BOMBA) E LATERO-LATERAL (MOVIMENTO ALÇA DE BALDE)20
- FIGURA 5. REPRESENTAÇÃO GERAL PARA VOLUMES E CAPACIDADE DO SISTEMA RESPIRATÓRIO HUMANO.21
- FIGURA 6. MODELO DE GRÁFICO PARA VOLUME EXPIRATÓRIO FORÇADO NO PRIMEIRO SEGUNDO (VEF1) E PICO DE FLUXO EXPIRATÓRIO (PFE), VOLUME RESISUAL (VR), VOLUME RESERVA EXPIRATÓRIO (VRE), VOLUME RESERVA INSPIRATÓRIO (VRI), VOLUME CORRENTE (VC), CAPACIDADE PULMONAR TOTAL (CPT), CAPACIDADE VITAL (CV) E CAPACIDADE RESIDUAL FUNDIONAL (CRF) OBTIDOS COM USO DE UM ESPIRÔMETRO.22
- FIGURA 7. REPRESENTAÇÃO DE CURVAS PARA INDIVÍDUOS NORMAIS, OBSTRUTIVOS E RESTRITIVOS PARA TESTE DE VOLUME EXPIRATÓRIO FORÇADO NO PRIMEIRO SEGUNDO (VEF) NA MANOBRA DE CAPACIDADE VITAL FORÇADA (CVF).23
- FIGURA 8. MODELO DE ANÁLISE TORACOABDOMINAL EM 3D COM SECÇÃO TORACOABDOMINAL EM REGIÃO TORÁCICA SUPERIOR (TX-S), TORÁCICA INFERIOR (TX-I), ABDOMINAL SUPERIOR (AB-S) E ABDOMINAL INFERIOR (AB-I).....27
- FIGURA 9. MODELO DE ANÁLISE TORACOABDOMINAL EM 3D COM SECÇÃO TORACOABDOMINAL EM REGIÃO TORÁCICA SUPERIOR, TORÁCICA INFERIOR E ABDOMINAL.....28

FIGURA 10. MODELO TEÓRICO DE POSICIONAMENTO DOS MARCADOS DE SUPERFÍCIE NA REGIÃO TORACOABDOMINAL DOS INDIVÍDUOS. TÊM-SE PROJEÇÃO DA CICATRIZ UMBILICAL OU ONFÁLICA (COD); ÂNGULO INFERIOR DA 10ª COSTELA (ACD); PROJEÇÃO DO MANÚBRIO DO ESTERNO (MED); PROJEÇÃO DA APÓFISE XIFÓIDE DO ESTERNO (AXD) E ESPINHA ILÍACA ÂNTERO-SUPERIOR DIREITA (EID).	32
FIGURA 11. REPRESENTAÇÃO PRÁTICA DO MODELO DE POSICIONAMENTO DE MARCADOS EM INDIVÍDUOS NA POSIÇÃO DECÚBITO DORSAL PARA OS PONTOS DEFINIDOS NA FIGURA 9.	32
FIGURA 12. MODELO DE SECÇÃO TORACOABDOMINAL EM COMPARTIMENTOS SUPERIORES COM O TÓRAX SUPERIOR (TXS) E O ABDÔMEN SUPERIOR (ABS) E COMPARTIMENTOS INFERIORES COM TÓRAX INFERIOR (TXI) E ABDÔMEN INFERIOR (ABI) PARA CÁLCULO FOTOGRAMÉTRICO BIDIMENSIONAL DE ÁREAS NO MOMENTO DA EXPIRAÇÃO E INSPIRAÇÃO MÁXIMA.....	33
FIGURA 13. MODELO FOTOGRAMÉTRICO TRIDIMENSIONAL COM SECÇÃO TORACOABDOMINAL EM COMPARTIMENTOS SUPERIORES COM O TÓRAX SUPERIOR (TXS) E O ABDÔMEN SUPERIOR (ABS) E COMPARTIMENTOS INFERIORES COM TÓRAX INFERIOR (TXI) E ABDÔMEN INFERIOR (ABI).....	33
FIGURA 14. AUMENTO DOS DIÂMETROS TORÁCICOS DURANTE A INSPIRAÇÃO E EXPIRAÇÃO. A IMAGEM 1 ILUSTRA UMA VISTA FRONTAL DO ARCABOUÇO TORÁCICO E A IMAGEM 2 MOSTRA UM CORTE TRANSVERSAL DA MESMA REGIÃO. A LETRAS A, B E C PRESENTES NA IMAGEM 2 REFEREM-SE AS DIREÇÕES ÂNTERO-POSTERIOR, LATERO-LATERAL E CRÂNIO-CAUDAL RESPECTIVAMENTE.....	45
FIGURA 15. REPRESENTAÇÃO DO COMPORTAMENTO RESPIRATÓRIO EM EXERCÍCIOS INTENSOS. O RELAXAMENTO DIAFRAGMÁTICO DURANTE A INSPIRAÇÃO NORMAL É SUBSTITUÍDO PELA SUÇÃO DESTE E DO ABDÔMEN NA INSPIRAÇÃO COM FADIGA.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 1. MODELO ILUSTRATIVO PARA REPRESENTAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS GERAIS, TAL COMO DESVIOS PADRÕES DAS ÁREAS DE CADA SEGMENTO TORÁCICO E ABDOMINAL CÁLCULOS PELA FOTOGAMETRIA. TÊM-SE TXS (TÓRAX SUPERIOR), TXI (TÓRAX INFERIOR), TXT (TÓRAX TOTAL), ABS (ABDOMINAL SUPERIOR), ABI (ABDOMINAL INFERIOR) E ABT (ABDOMINAL TOTAL).....37
- GRÁFICO 2. MODELO ILUSTRATIVO PARA REPRESENTAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DIVIDIDOS POR GÊNERO, TAL COMO DESVIOS PADRÕES DAS ÁREAS DE CADA SEGMENTO TORÁCICO E ABDOMINAL CÁLCULOS PELA FOTOGAMETRIA. TÊM-SE TXS (TÓRAX SUPERIOR), TXI (TÓRAX INFERIOR), TXT (TÓRAX TOTAL), ABS (ABDOMINAL SUPERIOR), ABI (ABDOMINAL INFERIOR) E ABT (ABDOMINAL TOTAL).....37
- GRÁFICO 3. COMPARAÇÃO DE USO DE CADA SEGMENTO FOTOGAMÉTRICO OBTIDO PELA RAZÃO DOS VALORES EXPIRATÓRIOS PELOS INSPIRATÓRIOS, SENDO QUE VALORES MAIS PRÓXIMOS A 1 INDICAM MENOR USO DA REGIÃO.39
- GRÁFICO 4. COMPARAÇÃO DE USO TORÁCICO, ABDOMINAL E TOTAL, OBTIDO PELA RAZÃO DOS VALORES EXPIRATÓRIOS PELOS INSPIRATÓRIOS, SENDO QUE VALORES MAIS PRÓXIMOS A 1 INDICAM MENOR USO DA REGIÃO39
- GRÁFICO 5. ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA DE *BLAND-ALTMAN* PARA VISUALIZAÇÃO DA PRECISÃO DO MÉTODO FOTOGAMÉTRICO PARA PREDIÇÃO DE CVF.41
- GRÁFICO 6. ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA DE *BLAND-ALTMAN* PARA VISUALIZAÇÃO DA PRECISÃO DO MÉTODO FOTOGAMÉTRICO PARA PREDIÇÃO DE IP.....42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	APRESENTAÇÃO DOS VALORES ANTROPOMÉTRICOS DE TODO O GRUPO AVALIADOS, TAL COMO DISTINTOS POR GÊNERO.....	35
TABELA 2.	VALORES DO TESTE ESPIROMÉTRICO REALIZADO NA POSIÇÃO DECÚBITO DORSAL. DADOS APRESENTADOS DE TODO O GRUPO E DISTINTOS POR GÊNERO.	36
TABELA 3.	APRESENTAÇÃO DAS CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS E RESPIRATÓRIAS.....	36
TABELA 4.	VALORES VOLUMÉTRICOS GERAL, MASCULINO E FEMININO PARA OS COMPARTIMENTOS RESPIRATÓRIOS NO MOMENTO EXPIRATÓRIO E INSPIRATÓRIO.....	38
TABELA 5.	CORRELAÇÕES PARA ÁREA ENTRE OS VALORES RESPIRATÓRIOS ESPIROMÉTRICOS E A ANÁLISE FOTOGAMÉTRICA BIDIMENSIONAL.	40
TABELA 6.	CORRELAÇÕES PARA VOLUMES ENTRE OS VALORES RESPIRATÓRIOS ESPIROMÉTRICOS E A ANÁLISE FOTOGAMÉTRICA TRIDIMENSIONAL.	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 MOVIMENTO HUMANO	16
2.2 SISTEMA E MOVIMENTO VENTILATÓRIO	17
2.2.1 Volumes e Capacidades Pulmonares.....	20
2.2.2 Espirometria	21
2.2.3 Fatores de Interferência no Sistema Respiratório.....	23
2.3 FOTOGRAMETRIA	24
2.3.1 Aplicabilidade Da Fotogrametria De Curta Distância.....	25
2.3.2 Fotogrametria Respiratória bidimensional e tridimensional	26
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA	29
3.2 AMOSTRA.....	29
3.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA	30
3.4 AVALIAÇÃO RESPIRATÓRIA.....	31
3.4.1 Espirometria	31
3.5 COLETA E TRATAMENTO DE IMAGENS.....	31
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
4 RESULTADOS	35
5 DISCUSSÃO	43
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS	43
5.2 CARACTERÍSTICAS RESPIRATÓRIAS.....	44
5.3 ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA	45
5.3.1 Fotogrametria na quantificação respiratória.....	46
5.3.2 Fotogrametria para predição respiratória.....	48
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	50
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICES	64
ANEXOS	74

1 INTRODUÇÃO

O homem é limitado a funcionar dentro de seus desempenhos respiratórios, locomotores, nutricionais, antropométricos, entre outros (BOMPA, 2001). Desta forma, medir e avaliar características de desempenhos compõem um dos principais procedimentos para tomada de decisão de inúmeros profissionais na área da saúde (MORROW *et al.*, 2003). Para isto, ferramentas que forneçam medidas e avaliações consistentes com objetividade, reprodutibilidade e relevância são criadas para auxiliar e facilitar este trabalho (TRITSCHLER; BARROW; MCGEE, 2003).

Quanto ao desempenho respiratório, Guyton e Hall (2006) apontam que este é resultado de um complexo sistema de estruturas e mecanismos, foco de estudo em diversas áreas do conhecimento por apresentar potencial de utilidade em setores clínicos, epidemiológicos e no esporte (POWERS; HOWLEY, 2009).

O sistema respiratório funcionando em perfeitas condições reflete, por exemplo, aspectos fisiológicos e funcionais, que ao não trabalharem adequadamente, estão diretamente ligados a doenças obstrutivas, restritivas, assim como baixo condicionamento físico e baixo desempenho esportivo (LOULA *et al.*, 2004). Ademais, estudos apontam uma estreita relação desses aspectos com a deformação superficial da região torácica e abdominal vista nas fases de inspiração e expiração (KONNO; MEAD, 1967; WARD; WARD; MACKLEM, 1992; CALA *et al.*, 1996; KOTANI *et al.*, 2004).

No campo da instrumentação, uma ferramenta datada do final do século XIX, denominada fotogrametria, visa através da inserção de métrica em imagens, extrair informações quantitativas a respeito de um sistema avaliado (COELHO; BRITO, 2007). Sua associação com a avaliação estática e cinemática do homem tem apontado satisfatórios resultados (BARAUNA *et al.*, 2003; HOCHMAN; NAHAS; FERREIRA, 2005; SACCO *et al.*, 2007; RICIERI; COSTA; ROSARIO FILHO, 2008), sendo considerada um novo caminho para agregação de evidências de alto nível na avaliação de forma e qualidade de movimento (BARROS *et al.*, 1999).

Essa técnica incorporada no âmbito de avaliação respiratória apresentou bons resultados na análise bidimensional respiratória (RICIERI, 2008)¹, mostrando-se um método confiável, reprodutível, fidedigno e viável pelo desenvolvimento e redução dos custos da informática e de câmeras fotográficas digitais.

¹ Método BAMER (Biofotogrametria para Análises da Mecânica Respiratória)

1.1 JUSTIFICATIVA

Os sistemas humanos são fundamentais para a manutenção da vida (GUYTON; HALL, 2006). Entre eles, tem-se o sistema respiratório, composto por um complexo conjunto de órgãos, músculos e estruturas ósseas que ao trabalharem em sincronismo geram o fenômeno da ventilação, vital para o ser humano (WEST, 2010).

Diversas são as maneiras, já validadas, para avaliação respiratória, entre elas destacam-se: pletismografia, magnetometria, lavagem de nitrogênio (WEBSTER, 2009), análises cinemáticas tridimensionais (FERRIGNO *et al.*, 1994). Estes métodos avaliam de maneira eficaz e não-invasiva os volumes, capacidades, limitações e padrões respiratórios, contudo utilizam equipamentos de custos elevados e difícil transportabilidade, sendo por isso, restritos, muitas vezes, a grandes laboratórios de análises do sistema respiratório. Ainda, conhecendo-se a realidade da saúde e do esporte público brasileiro, há uma fundamental necessidade da criação de instrumentos e metodologias de baixo custo para avaliação respiratória que forneçam resultados consistentes e reprodutíveis (TRITSCHLER; BARROW; MCGEE, 2003).

Em meio a esse contexto, pode ser utilizado o sistema de análise de imagem por fotogrametria, o qual tem como fundamento o conceito validado das relações entre movimento de superfície toracoabdominal com volume pulmonar (KOTANI *et al.*, 2004). Esta técnica representa um caminho para agregar evidências à mensuração da modificação de forma e qualidade do movimento, com o traçado de valores numéricos quantitativos (BARROS *et al.*, 1999).

A fotogrametria para avaliação respiratória tem sido aplicada com sucesso em análises bidimensionais em crianças (RICIERI, 2009), entretanto, estudos em adolescentes, tal como a aplicação em simulações tridimensionais ventilatórias representam lacunas a serem preenchidas.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo consiste em correlacionar volumes respiratórios obtidos pelo uso de um espirômetro com um modelo biomecânico de análise fotogramétrica bidimensional e tridimensional em adolescentes sem obstruções ou restrições respiratórias.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar o comportamento respiratório de meninos e meninas;
- b) Comparar valores da prova de capacidade vital forçada em ambos os gêneros;
- c) Estabelecer um modelo fotogramétrico computacional de reprodução tridimensional a partir de imagens bidimensionais;
- d) Equacionar o volume respiratório pela análise de imagem.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A primeira parte da dissertação traz um levantamento bibliográfico referente ao movimento humano, seguindo uma descrição do sistema respiratório, que aborda tópicos como mobilidade toracoabdominal, volumes e capacidade pulmonares, além da exposição de equipamentos e técnicas para quantificação da respiração.

Após a descrição do sistema respiratório, apresenta-se a análise fotogramétrica, tal como sua aplicabilidade. Concluída essa etapa, a dissertação aborda a metodologia para desenvolvimento da dissertação, seguida dos resultados. Os resultados e as discussões são divididas em características gerais, respiratórias e análise fotogramétrica. Por fim, apresentam-se as principais conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os principais aspectos relacionados ao movimento humano, ao sistema respiratório e suas características. Esses pontos auxiliam em uma melhor compreensão da aplicação da técnica de fotogrametria para análises respiratórias.

2.1 MOVIMENTO HUMANO

O interesse pela análise da mecânica do movimento humano está tão presente na humanidade quanto o estudo do movimento dos astros (FERRIGNO; BORGHESE; PEDOTTI, 1990). Roetenberg (2006) defende que a fascinação por essa ciência conhecida como biomecânica é devido a uma natural interdisciplinaridade e a uma vasta gama de aplicações presentes nela por descrever, analisar e modelar sistemas biológicos.

Considerado o precursor dessa ciência, o grego Aristóteles (384 – 322 a.C.) descreveu em seu trabalho intitulado *De Motu Animaliu*, diferentes tipos de análise de movimento e análises fisiológicas de animais, o que o tornou por muitos, o pai da biomecânica (NUSSBAUM, 1978).

Outros estudos sobre o movimento e a mecânica humana foram descritos por Leonardo da Vinci (1452 – 1519) ao estudar a habilidade de saltar e sentar do homem. Contudo, o físico e matemático Galileu Galilei (1564 – 1642) foi quem tentou as primeiras aplicações de conceitos matemáticos a esse tipo de análise (ROETENBERG, 2006) criando novos paradigmas para futuros pesquisadores.

Desta maneira, séculos após seus primeiros relatos, a biomecânica passa a compor uma das disciplinas das ciências naturais (AMADIO; SERRÃO, 2007) a qual se aplicam análises físicas que possibilitam estudos quantitativos e qualitativos de ações estáticas ou dinâmicas do corpo humano (HAMILL; KNUTZEN, 2011). Hall (2005, p.2) define biomecânica como a “descrição do movimento, incluindo o padrão e a velocidade das sequências realizadas pelos segmentos corporais”.

Incorporada a biomecânica como uma vertente de estudo tem-se a cinemetria que visa quantificar variáveis do movimento humano em associação à captação de imagens, podendo ser na forma de videogramas ou fotogramas (HAMILL; KNUTZEN, 2011).

O fotógrafo Eadweard Muybridge (1830 – 1904) foi uma dos precursores desse tipo de análise, ao posicionar inúmeras câmeras para captura de movimentos de animais e seres humanos (LAYBOURNE, 1998) (Figura 1).

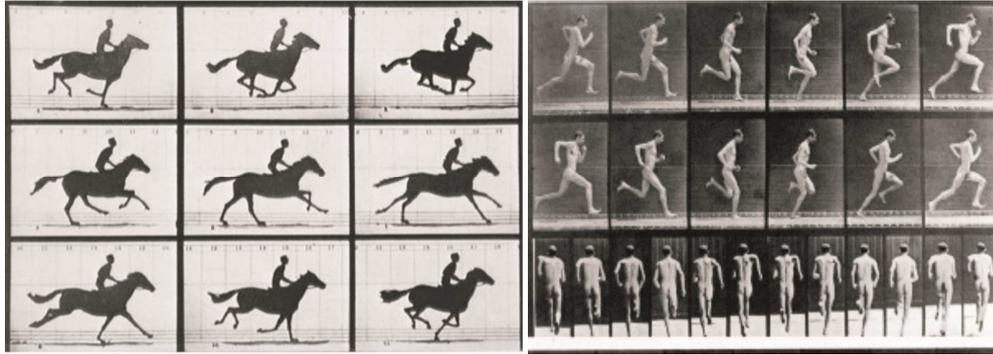


Figura 1. Modelo das primeiras aplicações da análise por cinematria em estudo sobre movimentos animais e movimentos de seres humanos elaborados por Eadweard Muybridge.

Fonte: Adaptado de Muybridge (1887).

O uso da imagem/fotograma na biomecânica emerge para suprir a deficiência de utilizar apenas o olho humano como ferramenta para os estudos de movimento, pois torna viável o estudo dos mais diversos e complexos tipos de movimento, entre eles a ação do aparelho respiratório (RICIERI, 2008). Assim fundamentados na biomecânica e em suas vertentes cinemática e cinemétrica, pesquisadores passaram a buscar modelos para estudos da mecânica respiratória e suas implicações (KONNO; MEAD, 1967; GOLDMAN; MEAD, 1973; RICIERI; ROSARIO FILHO, 2009)

2.2 SISTEMA E MOVIMENTO VENTILATÓRIO

O processo ventilatório, fundamental para a vida, consiste em contínuas ações de inspiração e expiração de ar entre os pulmões e o meio ambiente (WILMORE; COSTILL, 2001). Essas duas ações são controladas pelo sistema respiratório, que é seccionado em tratos aéreos superior e inferior.

A porção superior é constituída pelo nariz, faringe, laringe e traquéia superior; a porção inferior engloba os pulmões, brônquios, bronquíolos, traquéia inferior e diafragma. Em conjunto, os tratos aéreos são responsáveis pela função da troca de dióxido de carbono (CO_2) do sangue por gás oxigênio (O_2) (CASTRO, 1972; RATNOVSKY; ELAD; HALPERN, 2008).

Seccionar o sistema auxilia na compreensão dos processos que englobam a respiração, que são basicamente: (a) ventilação pulmonar, (b) difusão pulmonar; (c) transporte de gases e (d) troca gasosa capilar (WILMORE; COSTILL, 2001). A primeira etapa (a) consiste na renovação dos gases nos pulmões; seguido da fase (b) que compreende a troca gasosa entre

CO₂ e O₂ pulmonar, também denominada difusão. A terceira etapa (c) trata-se do transporte, feito em conjunto com o sistema circulatório do O₂ pulmonar para os tecidos corporais e a remoção de CO₂. Por fim (d) inclui troca de gases ao nível celular (MARIEB; HOEHN, 2009). Assim, consideram-se as fases (a) e (b) como respiração externa e as fases (c) e (d) como respiração interna, aquelas por envolver a mobilização de gases no exterior do corpo para os pulmões e estas por proporcionar a troca gasosa no nível tecidual (WILMORE; COSTILL, 2001; WEST, 2010).

Esse contínuo mecanismo de entrada e saída de ar está assegurado também por uma cadeia muscular esquelética atuante nas fases respiratórias (GUYTON; HALL, 2006). Na etapa inspiratória, tem-se a ação do principal músculo respiratório, o diafragma, que divide a atividade respiratória torácica da abdominal (RATNOVSKY; ELAD; HALPERN, 2008). Ao se contrair na inspiração o diafragma proporciona o aumento do diâmetro céfalo-caudal torácico, nesse mesmo instante ocorre um incremento do diâmetro látero-lateral e ântero-posterior devido a uma nova posição adotada pelas margens costais (AIRES, 2008) (Figura 2) o que desencadeia um movimento da parede torácica e seus componentes.

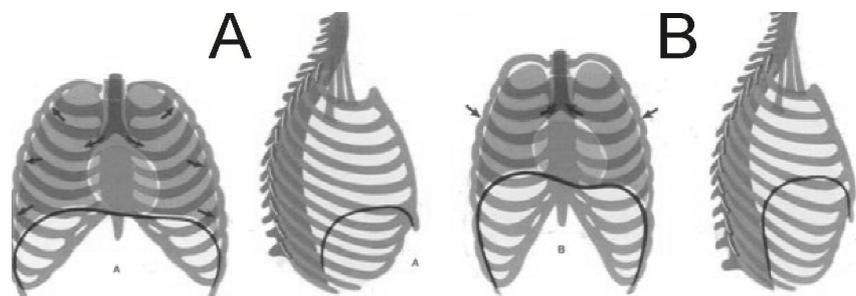


Figura 2. Movimentos respiratórios. Ações diafragmáticas e costais para o momento de inspiração (A), onde nota-se expansão no sentido latero-lateral e ântero-posterior. Para o momento de expiração (B) têm-se o retorno para a posição natural. Setas indicam sentido da expansão torácica (A) e da retração torácica (B).

Fonte: Guyton e Hall (2006, p.306).

De Troyer e Estenne (1988) ressaltam que apesar de ser o principal músculo, o diafragma não é o único ativo durante a respiração, mesmo na respiração tranqüila.

Assim, complementando a ação do diafragma, têm-se ainda os músculos intercostais, paraesternais, esterno triangular, escalenos e abdominais que atuam como auxiliares. Os músculos abdominais possuem ação conjunta com o diafragma que ao se expandirem ventralmente, facilitam o acomodamento diafragmático (DE GROOTE *et al.*, 1997).

Além destes citados, o sistema respiratório humano possui uma musculatura acessória composta basicamente pelos músculos: esternocleidomastóideo, trapézio, peitoral maior,

grande dorsal e abdômen (AIRES, 2008) que podem ser solicitados em condições específicas da respiração, como por exemplo em exercícios físicos e limitações físicas.

A fase da expiração, por sua vez, é tratada como um momento passivo, ou de relaxamento muscular, auxiliada principalmente pelos músculos abdominais, onde as porções corporais solicitadas retornam a sua posição original, gerando um aumento da pressão intratorácica que força o ar a ser expelido (GUYTON; HALL, 2006). Em condições de respiração forçada essa ação pode ser auxiliada pelos músculos quadrados lombares e grandes dorsais (WILMORE; COSTILL, 2001).

Hill (2004), Laghi e Tobin (2003) ressaltam em seus trabalhos sobre mecânica ventilatória que a fraqueza dos músculos respiratórios pode gerar complicações obstrutivas em vias aéreas devido à limitação na sustentabilidade da ventilação normal. Assim quando exigido qualquer aumento ventilatório, a fadiga dos músculos pode ocorrer de maneira extremamente rápida.

Ademais, o conjunto de órgãos e músculos, que representam a maior porção do sistema respiratório está envolto sob a caixa torácica. Essa caixa osteocartilaginosa é formada por vértebras, discos intervertebrais, costelas, cartilagens costais e o osso esterno (SOBOTTA, 2000). Devido a essa constituição da caixa torácica há a possibilidade de variação do seu volume durante cada ciclo respiratório (Figura 3).

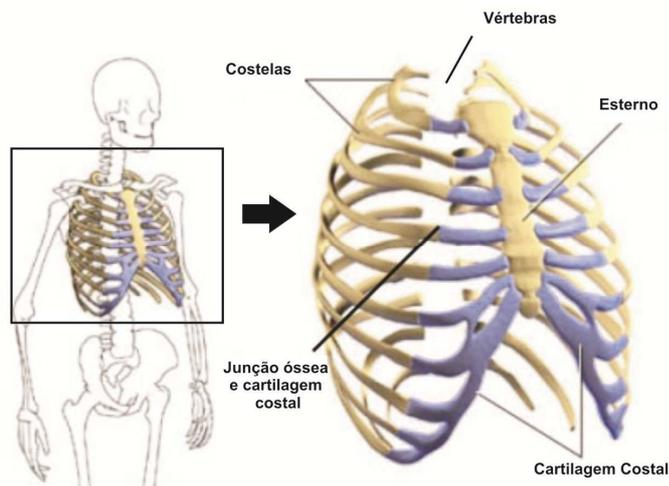


Figura 3. Ilustração da caixa torácica e os elementos que a limitam: cartilagem costal, osso esterno e junções para vista anterior, costelas na vista lateral e vértebras na parte posterior.

Fonte: Adaptado de Media (2011).

Um estudo datado de 1987 teve como objetivo analisar os componentes ósseos (vértebras e costelas) da caixa torácica e seus comportamentos durante a respiração com uso de tomografia computadorizada (WILSON *et al.*, 1987). Os resultados mostraram que as costelas se movimentam como uma “alça de balde” (variação na dimensão lateral) e como um

“braço de bomba” (variação anterior) (Figura 4), a primeira acarreta um aumento no diâmetro látero-lateral e a segunda gera um incremento no diâmetro ântero-posterior (KAPANDJI, 2008; WEST, 2010).

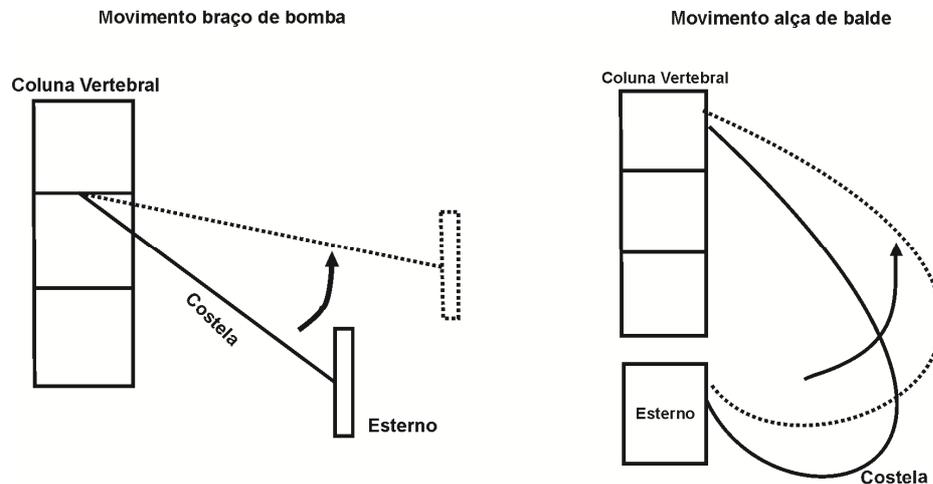


Figura 4. Representação da mobilidade das costelas no sentido ântero-posterior (movimento braço de bomba) e látero-lateral (movimento alça de balde). Linha pontilhada indica momento inspiratório e linha cheia momento expiratório.

Fonte: Adaptado de Paixão (2010)

O conhecimento da caixa torácica e os componentes do sistema respiratório permitiram aos pesquisadores as primeiras análises da respiração pelo mapeamento de superfície do conjunto tórax e abdômen (toracoabdominal).

2.2.1 Volumes e Capacidades Pulmonares

Nota-se que o objetivo da respiração, tal como sua eficiência é dependente da quantidade de ar mobilizado pela respiração externa e depois pela efetividade da captação de O_2 da respiração interna. O primeiro fator será o foco deste tópico.

Volumes pulmonares são convencionalmente seccionados em quatro sub-volumes e quatro capacidades. A determinação desses volumes representa uma avaliação da função pulmonar, pois torna possível a detecção de fisiopatologias pulmonares (BARRETO, 2002).

Quanto aos volumes tem-se: (1) Volume Corrente (VC) que representa o volume de gás inalado ou exalado em cada ciclo respiratório; (2) Volume de Reserva inspiratório (VRI), compreendendo uma inspiração acima do nível inspiratório normal; (3) Volume de Reserva Expiratório (VRE) definido como o volume de gás expirado além da

expiração normal do indivíduo; (4) Volume Residual (VR) que é o volume permanente no pulmão após uma expiração máxima.

A soma de dois ou mais volumes possibilita a análise das capacidades pulmonares, sendo elas: (1) Capacidade Vital (CV), soma do VC, VIR, VER, representando a quantidade máxima de gás entre a inspiração e expiração máxima; (2) Capacidade Inspiratória (CI), soma do VC e VIR, apontando o máximo volume inspirado, feito após uma expiração normal; (3) Capacidade Funcional Residual (CFR), volume de gás contido nos pulmões após uma expiração espontânea, obtido pela soma de VER e VR; (4) Capacidade Pulmonar Total (CPT), compreende a soma dos quatro volumes e resulta na quantidade de gás pulmonar após uma inspiração máxima (GUYTON; HALL, 2006; ZIN; ROCCO; FAFFE, 2008; POWERS; HOWLEY, 2009). A Figura 5 ilustra as relações entre os volumes e capacidades pulmonares.

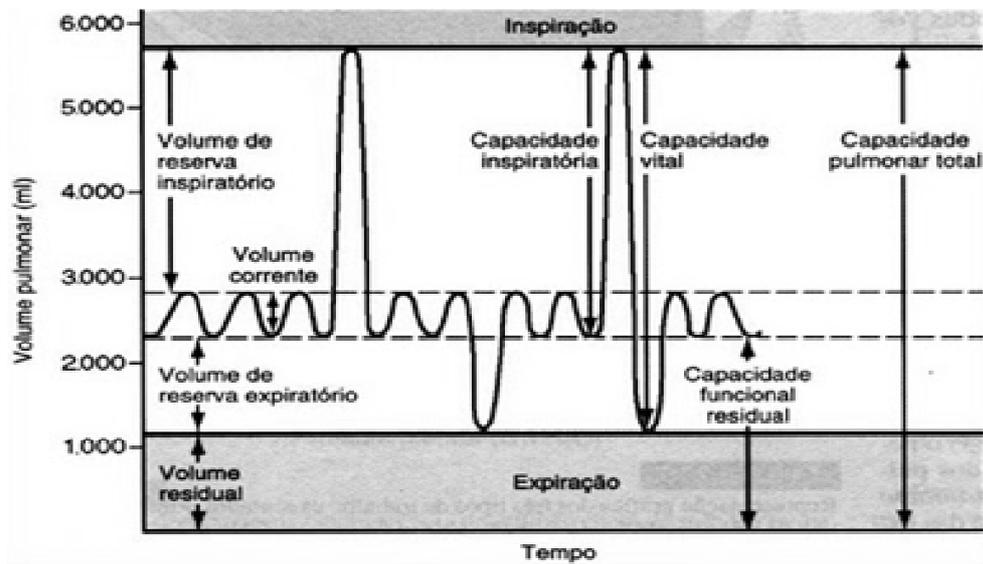


Figura 5. Representação geral para volumes e capacidades do sistema respiratório humano.

Fonte: Adaptado de Zin, Rocco e Faffe (2008, p.617).

2.2.2 Espirometria

A aferição de volumes e capacidades pulmonares, tal como o controle da condição pulmonar do indivíduo são feitas geralmente por dois equipamentos: espirômetro e ventilômetro (ZIN; ROCCO; FAFFE, 2008).

A espirometria (do latim *spirare*, *metrum* que se traduz como respirar e medida) é uma das principais ferramentas para diagnósticos de alterações quanto ao VC, VIR, VER, CI e CV (PEREIRA; NEDER, 2002). Essas medidas, realizadas a partir de testes específicos, refletem

informações quanto à distensibilidade pulmonar, resistência ao fluxo aéreo e relações entre volume-pressão (BARRETO, 2002; PEREIRA *et al.*, 2002).

Entre as manobras expiratórias forçadas de grande utilidade e reprodutibilidade em qualquer ambiente tem-se a prova Capacidade Vital Forçada (CVF), que consiste em solicitar que o indivíduo após uma inspiração máxima (capacidade pulmonar total), expire todo o ar de forma rápida e intensa no bocal do espirômetro; essa manobra possibilita detectar limitações ou obstruções do sistema respiratório (ATS, 1991).

O traçado gráfico visto na Figura 6 ilustra as variáveis encontradas durante a prova de CVF, que possibilita ainda a análise de duas outras importantes variáveis respiratórias: Pico de Fluxo Expiratório (PFE) e o Volume Expiratório Forçado no Primeiro segundo (VEF_1) (PEREIRA; NEDER, 2002). O PFE acontece nos primeiros 150 milissegundos da expiração (BOAVENTURA *et al.*, 2007) e trata-se da associação entre força com a velocidade de saída do ar, que possibilita monitoração e detecção de estreitamentos de vias aéreas (WEST, 2010). O VEF_1 por sua vez mede a quantidade de ar eliminado dos pulmões no primeiro segundo, onde se considera que indivíduos normais, sem obstrução em vias aéreas, liberam cerca de 80% da CVF ou do volume pulmonar no primeiro segundo (Figura 6) (PEREIRA; NEDER, 2002). Essa relação entre VEF_1/CVF também pode ser representada pelo nome de “Índice de Tiffeneau” (TIFFENEAU; PINELLI, 1947).

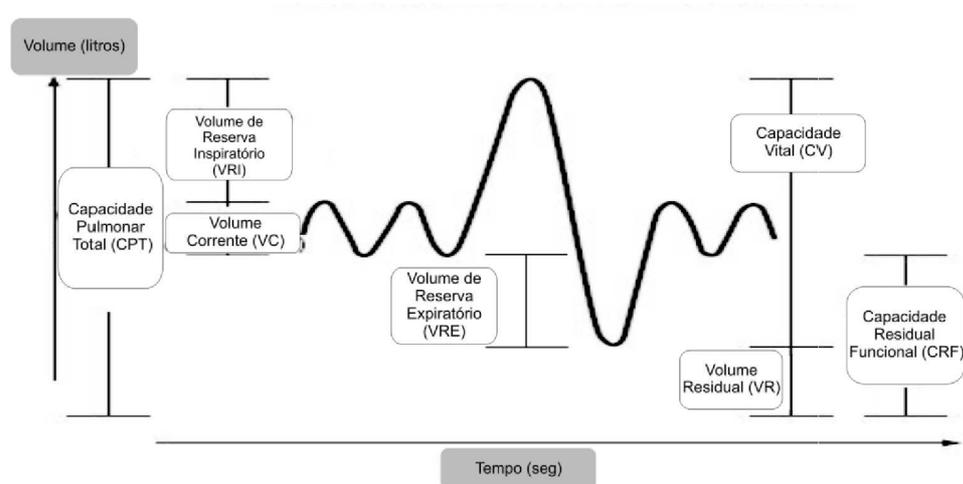


Figura 6. Modelo de gráfico da manobra de CVF, sendo: Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1) e Pico de Fluxo Expiratório (PFE), Volume Residual (VR), Volume Reserva Expiratório (VRE), Volume Reserva Inspiratório (VRI), Volume Corrente (VC), Capacidade Pulmonar Total (CPT), Capacidade Vital (CV) e Capacidade Residual Funcional (CRF) obtidos com uso de um espirômetro.

Fonte: Adaptado de Pereira (2002).

A Figura 7, por sua vez, mostra curvas espirométricas para indivíduos normais, com obstruções e restrições. O teste A mostra o padrão normal. No teste B nota-se baixo valor do

VEF₁ representando algum processo obstructivo que está interferindo no fluxo aéreo. O teste C ilustra alguma doença pulmonar restritiva que interfere na ação dos pulmões ou da parede torácica.

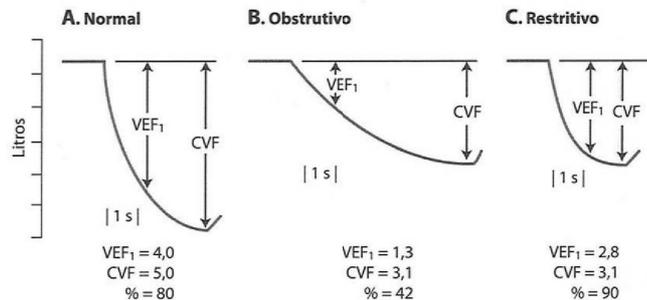


Figura 7. Representação de curvas para indivíduos normais (A), obstructivos (B) e restritivos (C) para teste de Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF₁) na manobra de Capacidade Vital Forçada (CVF).

Fonte: West (2010, p.197).

Para testes não forçados, estes buscam avaliar volumes correntes, assim como capacidades inspiratórias ou expiratórias, sem partir de manobras respiratórias rápidas e/ou forçadas.

Quantificar a respiração em seus ciclos com e sem esforço é de fundamental importância por possibilitar a análise de padrões respiratórios que podem representar eficiência ou deficiência na demanda energética, isso porque, cerca de 3 a 5% da energia consumida pelo organismo ocorre na ventilação tranquila ou basal respiratória (GUYTON; HALL, 2006) e, esse valor pode ser ainda maior (30%) em indivíduos com algum grau de obstrução ou restrição (WEST, 2010).

2.2.3 Fatores de Interferência no Sistema Respiratório

Estudos apontam diversos fatores que influenciam na ação respiratória, entre eles destacam-se: sexo (PEREIRA, 2002; ROMEI *et al.*, 2010), idade, antropometria (ALMEIDA; ZEFERINO; BARROS FILHO, 1999; PEREIRA *et al.*, 2002), posicionamento corporal (MAYNARD; BIGNALL; KITCHEN, 2000; ROMEI *et al.*, 2010), sobrecarga respiratória em exercício físico (WILMORE; COSTILL, 2001) e limitações neuromusculares e/ou respiratórias (PEREZ *et al.*, 1996).

Para o fator gênero ou sexo, estudos apontam que desde a infância até a vida adulta homens possuem maiores valores quanto às capacidades respiratórias quando comparadas as mulheres, isso porque meninos apresentam de maneira geral, melhor desenvolvimento da

musculatura torácica (BOAVENTURA *et al.*, 2007; ROMEI *et al.*, 2010). West (2010) coloca ainda que capacidades pulmonares podem ser até 25% maiores em homens. Para as variáveis antropométricas, Almeida, Zeferino e Barros Filho (1999) e Rassalan *et al.* (2009) ressaltam em seus estudos que variáveis como massa gorda e a estatura influenciam diretamente a função pulmonar. Estatura pela sua relação com o tamanho pulmonar e gordura em excesso por limitar a ação da região toracoabdominal em especial do diafragma.

Um estudo recente sobre o posicionamento corporal (ROMEI *et al.*, 2010) mostra que a avaliação na posição sentada (90°), em decúbito dorsal (180°) e em ângulos de 80°, 65° e 40° apresentaram decréscimo nos valores respiratórios quanto mais inclinado estiver o indivíduo, isso devido a uma realocação das estruturas corporais e uma alteração na ação gravitacional no sistema respiratório.

A ventilação pulmonar visa suprir necessidades de entrada de O₂ e eliminação de CO₂ do organismo humano, independente de qual seja a condição metabólica que o indivíduo estiver envolvido. Desta forma, em resposta a sobrecarga ventilatória em exercício físico a respiração é regulada a fim de maximizar a capacidade de desempenho humano (WILMORE; COSTILL, 2001), podendo representar um aumento de até 15 vezes no valor volume-minuto (WEST, 2010).

Finalmente as limitações neuromusculares refletem um dos principais fatores que geram perda de capacidade respiratória, isso porque em sua maioria essas limitações são devido a complicações patológicas (PEREZ *et al.*, 1996).

2.3 FOTOGRAMETRIA

A fotogrametria, etimologicamente proveniente dos radicais gregos *photon* (luz), *graphos* (escrita) e *metron* (medida), visa, através da inserção de métrica em imagens, extrair informações quantitativas a respeito de pontos estabelecidos, sejam eles em fotogramas bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) (COELHO; BRITO, 2007).

Coelho e Brito (2007, p.16) ressaltam em seu livro intitulado “Fotogrametria Digital” que o principal objetivo da fotogrametria está na “reconstrução de um espaço tridimensional, chamado de espaço-objeto, a partir de um conjunto não vazio de imagens bidimensionais, chamado de espaço-imagem”.

A Sociedade Americana de Fotogrametria por sua vez ressalta esta ciência como uma arte: arte de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de

processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas (THOMPSON, 1966).

O termo propriamente dito foi apresentado por Albrecht Meydenbauer em 1893 (ROCHA *et al.*, 2003), contudo historicamente a ciência da fotogrametria é datada de 1851, poucos anos após da descoberta da fotografia, com seu uso pioneiro em cartografia e topografia pelo francês, engenheiro e militar, Aimé Laussedat (SCHENK, 1999).

Desde sua invenção, a fotogrametria caminhou por inúmeras evoluções, passando pela fotogrametria analógica (1901 – 1950) onde se utilizavam os primeiros aparelhos óptico-mecânicos para reconstituição de mapas; fotogrametria analítica (1951 – 1990) com as primeiras aplicações de um computador; e a fotogrametria digital (1990 – atual) utilizando-se de câmeras digitais e *scanners* para análises em ciência cartográfica (COELHO; BRITO, 2007). Essa, então denominada arte, pode ser dividida em duas grandes áreas: fotogrametria métrica e fotogrametria interpretativa (TEMBA, 2000).

A fotogrametria métrica consiste, a partir de pontos determinados, em incluir valores de medição, podendo ser distâncias, ângulos, valores lineares e/ou volumétricos (TEMBA, 2000). Para a fotogrametria interpretativa, o mesmo autor coloca que este segmento visa o reconhecimento e identificação dos traçados nas fotografias, auxiliando, por exemplo, na detecção de objetos e determinação de seu grau de importância.

Apesar da vasta utilização da fotogrametria em âmbito cartográfico, com o decorrer dos anos ela foi dividida em quatro linhas de estudo: Fotogrametria Espacial, destinada a obtenção de imagens extraterrestres; Fotogrametria Aérea, aplicada especialmente à cartografia; Fotogrametria Terrestre, onde retiram-se fotografias em posição fixa em terrenos e Fotogrametria a Curta Distância utilizada como ferramenta multidisciplinar em ramos como: arquitetura, ciências da saúde, indústria (TOMMASELLI *et al.*, 1999).

2.3.1 Aplicabilidade Da Fotogrametria De Curta Distância

Com a chegada da denominada “Era digital”, o acesso fácil a câmeras digitais e de computadores permitiu a utilização da fotogrametria além do âmbito de agrimensura (fotogrametria aplicada à cartografia). Tendo como base a Fotogrametria a curta distância, e associando as aplicações da fotogrametria métrica e interpretativa ao ser humano, em momentos estáticos ou dinâmicos, estudos apontam resultados positivos em inúmeros tipos de

estudo 2D ou 3D (PIERSON, 1963; BARAÚNA, 1997; HOCHMAN; NAHAS; FERREIRA, 2005; IUNES *et al.*, 2005; SACCO *et al.*, 2007; RICIERI; COSTA; ROSÁRIO FILHO, 2008)

Hochman, Nahas e Ferreira (2005) realizaram um estudo para análise morfométrica nasal em pacientes de 19 a 45 anos com o objetivo de comparar pré e pós-operatório pela análise fotogramétrica, onde se concluiu que o método é prático, preciso e viabiliza ainda transmissão de conhecimentos, documentação e armazenamento das informações analisadas.

Iunes *et al.* (2005) buscaram a confiabilidade do método em análises angulares para a avaliação postural e também obtiveram resultados positivos. Outro estudo (SACCO *et al.*, 2007) com 26 indivíduos objetivou comparar a amplitude articular pelo método fotogramétrico e com o uso de um instrumento padrão (goniômetro), e ao final conclui-se que o novo método é aplicável e confiável.

Ricieri e Rosário Filho (2009) testaram a análise bidimensional, confrontando a postura em crianças asmáticas e normais, averiguando a positividade e eficiência na aplicação da fotogrametria, além de possibilitar a detecção de padrões posturais diferentes entre os grupos.

Baraúna (1997), considerado o idealizador do método no Brasil, analisou a marcha em amputados com a fotogrametria computadorizada, assim como testou, junto a colaboradores, o sucesso e a efetividade fotogramétrica para análise estática de equilíbrio em indivíduos amputados em membros inferiores (BARAÚNA *et al.*, 2006).

Assim as vantagens do uso da fotogrametria a curta distância encontram-se fortes na literatura. Entre as principais tem-se: redução da margem de erro em comparação a outros métodos como, por exemplo, a cirtometria; método não invasivo; método que possibilita formação de banco de dados; prático; transportável e baixo custo (IUNES *et al.*, 2009; RICIERI; ROSÁRIO FILHO, 2009).

2.3.2 Fotogrametria Respiratória bidimensional e tridimensional

Konno e Mead (1967) iniciaram um marco para análises respiratórias não invasivas, ao dividirem o tronco em dois compartimentos (caixa torácica e abdômen) e iniciarem as análises respiratórias por superfície. Essa divisão deu origem a métodos de avaliação respiratória, tais como: magnetometria (sensores para medição de deslocamento linear), pletismográfica (aferição por variação de volume) e a análise por imagem (LOULA *et al.*, 2004).

O sucesso no âmbito de análises por imagem para análise métrica do sistema respiratório deve-se, entre outros fatores, a estudos quanto à estreita relação toracoabdominal na ventilação a fim de obter informações indiretas quanto à qualidade respiratória (WARD; WARD; MACKLEM, 1992; CALA *et al.*, 1996; LOULA *et al.*, 2004), que impulsionado pelos desenvolvimentos na área da informática permitiu a criação de modelos 2D e 3D para esse fim.

Ferrigno *et al.* (1994) utilizaram um sistema 3D de luz infravermelha baseado na superfície toracoabdominal. A avaliação para determinação de volumes pulmonares consistiu em dividir o tronco em tórax superior, tórax inferior e abdômen, sendo encontradas altas correlações e reprodutibilidade. Cala *et al.* (1996) também obtiveram sucesso para cálculo do volume inspiratório e expiratório ao utilizarem um sistema óptico com marcadores reflexivos.

Loula (2004) estruturou um estudo propondo cálculos para variação de volume no tronco utilizando o sistema *Digital Vídeo for Biomechanics* (Dvideow) para aquisição do tórax em 3D por videogrametria. As medidas foram baseadas em oito formas geométricas irregulares correspondendo aos volumes parciais do tronco (tórax superior; tórax inferior, abdômen superior e abdômen inferior) (Figura 8). A autora obteve sinais correlacionados quanto ao volume ventilatório, concluindo que este foi um método eficiente na avaliação respiratória.

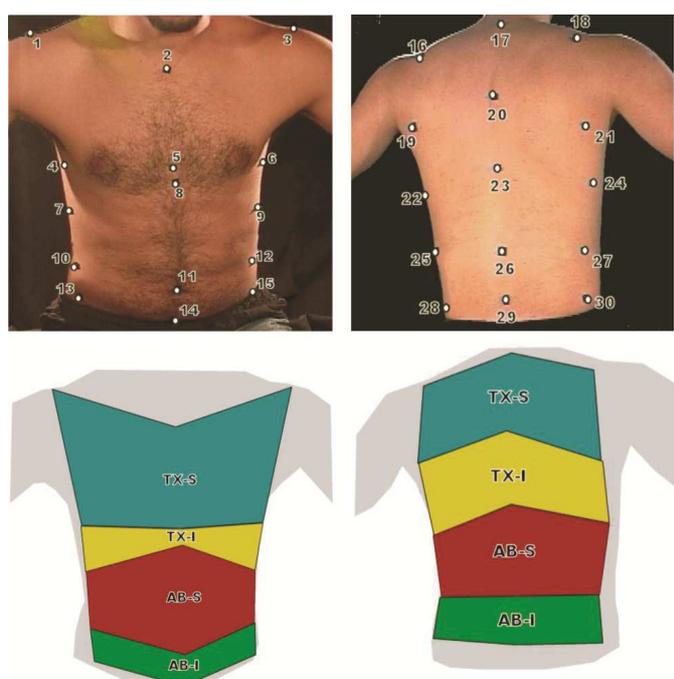


Figura 8. Modelo de análise toracoabdominal em 3D com secção toracoabdominal em região torácica superior (TX-S), torácica inferior (TX-I), abdominal superior (AB-S) e abdominal inferior (AB-I). Os pontos enumerados representam o posicionamento dos marcadores no avaliado.

Fonte: Adaptado de Loula (2004, p. 21, 27)

Da Gama (2011), por sua vez, associou o método de imagem por pletismografia ópto-eletrônica com eletromiografia de superfície na avaliação respiratória, concluindo que as associações das técnicas forneceram mais detalhes para compreensão da ventilação (Figura 9).

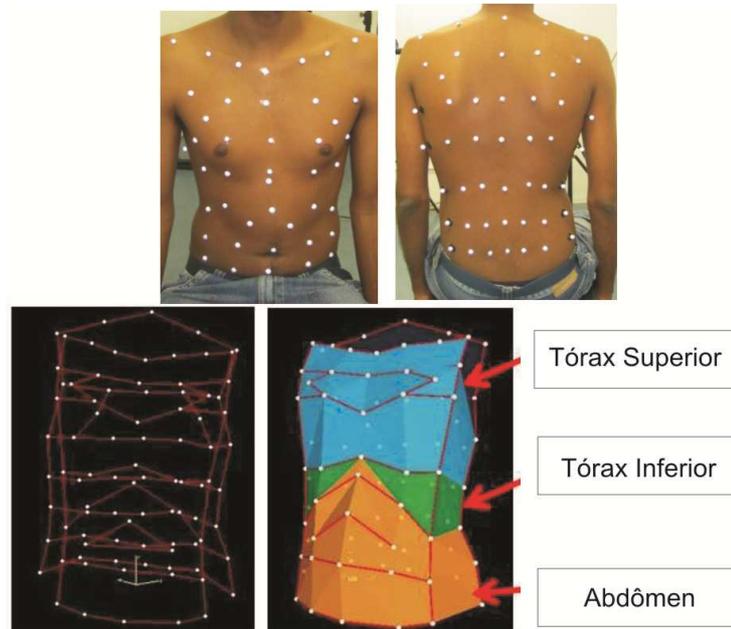


Figura 9. Modelo de análise toracoabdominal em 3D com secção toracoabdominal em região torácica superior, torácica inferior e abdominal.

Fonte: Adaptado de Da Gama (2011, p. 16-17).

No sistema respiratório com análise exclusivamente bidimensional, Magazoni (2000) utilizou-se da fotogrametria para correlação entre expansibilidade da caixa torácica e CV em indivíduos portadores e não portadores de espondilite anquilosante, uma doença que afeta articulações restringindo a mobilidade articular. Ao final concluiu que é eficaz a análise das linhas torácicas por imagem.

Ricieri (2008), seguindo procedimentos específicos e sistematizados, obteve também resultados confiáveis. A pesquisadora testou seu método BAMER para avaliação da mecânica respiratória em crianças e comprovou novamente o potencial fotogramétrico.

Desta maneira estudos vêm testando e comprovando a eficiência das metodologias de análise por imagem frente ao sistema respiratório.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

Quanto aos objetivos propostos, a pesquisa é classificada como exploratória descritiva, pois com o uso de técnicas pré-determinadas procura-se descrever características sobre determinada população, identificar grupos e, tenta explicar fatores que contribuem para a ocorrência de determinado fenômeno (GIL, 2002).

Quanto ao tratamento do problema, é classificada como quantitativa de dimensão transversal, onde se recorre ao uso de técnicas estatísticas para encontrar relação entre variáveis (GIL, 2002). Cortes transversais auxiliam na representação de instantâneos sobre características abordadas e apresenta vantagens como: objetividade, rapidez, potencial descritivo (COOPER; SCHINDLER, 2003).

3.2 AMOSTRA

A amostra, escolhida de maneira intencional, foi composta por 50 indivíduos para as avaliações subsequentes, divididas em avaliação antropométrica, medidas espirométricas e coleta de imagens. Compõem o grupo indivíduos de ambos os gêneros com idades entre 14 e 17 anos.

A inclusão de qualquer indivíduo no estudo deu-se inicialmente pela assinatura de um termo de assentimento (TA) (APÊNDICE A). Excluiu-se do estudo adolescentes cujos pais não assinaram o TA e aqueles que se enquadravam em um ou mais dos critérios abaixo:

- Apresentar histórico de doença respiratória;
- Apresentar queixas de dores em qualquer região do corpo;
- Ter sido submetido(a) a cirurgias no último ano;
- Manifestar desejo em abandonar sua participação no estudo e
- Apresentar obstrução ou restrição de vias aéreas no teste de espirometria.

O estudo seguiu os aspectos éticos recomendados pela Resolução nº 196/96 sobre pesquisa envolvendo seres humanos, bem como os princípios éticos contidos na Declaração de Helsinkí (1964, reformulada em 1975, 1983, 1989, 1996 e 2000). Esse estudo teve aprovação do comitê de ética da Universidade Federal do Paraná sob processo de número 01655012.6.0000.0102 (ANEXO A).

3.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA

A caracterização antropométrica da amostra foi feita inicialmente pela coleta de dados de massa corporal, estatura, índice de massa corporal (IMC), gordura corporal, massa isenta de gordura e comprimento do tórax. Para todas as avaliações foi solicitado que os indivíduos estivessem trajados com roupas de banho e descalças, a fim de assegurar a validade das informações (QUEIROGA, 2005).

A massa corporal foi aferida com a utilização de uma balança mecânica (Filizola), com resolução de 100 gramas. A avaliação da estatura deu-se com o uso de um estadiômetro de resolução igual a 0,1 cm, fixo e acoplado à balança, onde os indivíduos, com os pés juntos, no plano de *Frankfurt* eram solicitados a realizar uma inspiração, com a estatura medida na maior distância entre a base da balança e o vértex da cabeça (MORROW *et al.*, 2003).

A associação entre as duas variáveis permitiu o cálculo do índice de massa corporal (IMC) dado por meio da razão da massa corporal pelo quadrado da estatura. O índice permite a classificação de baixo peso, normal, sobrepeso e obesidade. Para indivíduos até 17 anos é necessária uma comparação individual com uma curva de percentis, sendo que indivíduos normais estão classificados entre o 5° e o 85° (ACSM, 2003). Para indivíduos com idade igual ou superior a 18 anos segue-se a classificação da organização mundial da saúde (OMS), onde valores normais estão abaixo de 25 kg/m² (OMS, 2006).

A gordura corporal foi aferida com a utilização de um plicômetro científico (CESCORF) com escala de 0,1mm. Utilizou-se como protocolo para estimativa do percentual de gordura a coleta de medidas em dois pontos anatômicos, subescapular e tricipital (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2001). O ponto subescapular foi aferido aproximadamente 2 cm da borda inferior da escápula e a dobra tricipital foi aquela destacada do ponto médio entre a borda lateral do acrômio e a maior proeminência do olecrano (PETROSKI, 2007; POLLOCK; WILMORE, 2009). Cada medida foi coletada três vezes para cálculo da média aritmética. Por fim, a massa isenta de gordura foi calculada pela diferença entre a massa total corporal e gordura corporal.

Por fim o comprimento do tórax foi medido com o indivíduo em pé com os braços afastados do corpo. Foi posicionado um paquímetro antropométrico (WCS) na linha do processo xifóide dos avaliados, que foram solicitados a realizar uma inspiração profunda para a obtenção da medida. Os dados foram anotados em uma ficha específica para o estudo (APÊNDICE B).

3.4 AVALIAÇÃO RESPIRATÓRIA

3.4.1 Espirometria

A espirometria serviu como teste de seleção do estudo. Os procedimentos seguiram as recomendações da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (SBPT, 2002). O indivíduo, após treinamento prévio, foi solicitado a realizar três testes de capacidade vital forçada (CVF), com um espirômetro digital bi-direcional (CareFusion - MicroLoop) com resolução de 10 ml para volume, fluxo de 0,03 l/s \pm 3%, dentro das recomendações da *American Thoracic Society* (ATS, 1991).

O teste consistiu em colocar os indivíduos sentados com a cabeça em posição neutra e fixa com um prendedor nasal, a fim de evitar o escape de ar. Foi solicitada, a partir de uma inspiração máxima, a manobra de CVF onde os avaliados deveriam realizar uma expiração forçada, com o seu máximo de esforço com duração mínima de seis segundos dentro de um bocal acoplado ao espirômetro; uma vez o esforço realizado o avaliado foi solicitado a realizar uma inspiração profunda (IP) ainda com o equipamento, a fim de obter o volume de ar inspirado. Durante a realização dos testes os avaliados foram encorajados verbalmente a realizar seu esforço máximo (ATS, 1991). O uso da manobra de CVF permitiu a obtenção dos valores da própria CVF, além do pico de fluxo expiratório (PFE), volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) e relação VEF_1/CVF , denominado índice de *Tiffeneau*. Foram excluídas os adolescentes que apresentaram relação VEF_1/CVF (*Tiffeneau*) inferior a 80% (SBPT, 2002).

Para os adolescentes com índice de *Tiffeneau* superior a 80% ocorreu uma nova avaliação respiratória, onde os avaliados foram submetidos a três novos testes em decúbito dorsal. As três manobras em decúbito dorsal foram filmadas, sendo adotada para análise fotogramétrica a medida com os melhores valores expiratórios.

Sete indivíduos apresentaram índice de *Tiffeneau* menor que 80%, e três apresentaram possível restrição devido à baixa CVF, assim, para o tratamento das imagens foram analisados 40 indivíduos.

3.5 COLETA E TRATAMENTO DE IMAGENS

A filmagem do teste em decúbito dorsal objetivou a análise fotogramétrica do movimento respiratório. Para isso foram posicionados marcadores adesivos de superfície

(PIMACO) com diâmetro conhecido (13 mm) sobre a projeção da cicatriz umbilical ou onfálica (COd); ângulo inferior da 10ª costela (ACd); projeção do manúbrio do esterno (MEd); projeção da apófise xifóide do esterno (AXd) e espinha íliaca ântero-superior direita (EId). As marcações teóricas e práticas são ilustradas nas Figuras 10 e 11, respectivamente. A determinação da localidade anatômica foi dada seguindo a metodologia de anatomia palpatória de TIXA (TIXA, 2000).

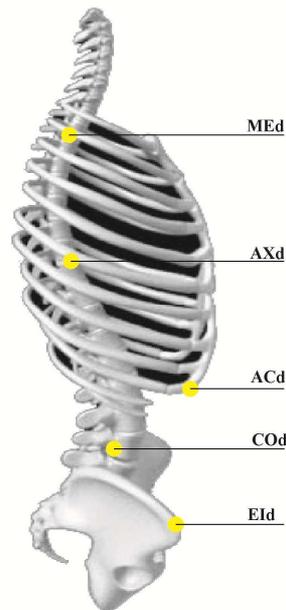


Figura 10. Modelo teórico de posicionamento dos marcados de superfície na região toracoabdominal dos indivíduos. Têm-se projeção da cicatriz umbilical ou onfálica (COd); ângulo inferior da 10ª costela (ACd); projeção do manúbrio do esterno (MEd); projeção da apófise xifóide do esterno (AXd) e espinha íliaca ântero-superior direita (EId).

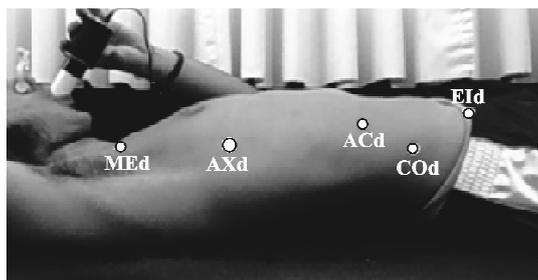


Figura 11. Representação prática do modelo de posicionamento de marcadores em indivíduos na posição decúbito dorsal para os pontos definidos na Figura 10.

Foi posicionada perpendicularmente aos avaliados uma câmera filmadora Sony® modelo HDX-100, em um plano apoiada em tripé de 1,50m de altura e distanciada 2,00m do avaliado.

Uma vez coletados os filmes, estes foram importados para o software *Windows Movie Maker* onde se extraíam os fotogramas referentes aos instantes de expiração e inspiração máximas. Essas imagens foram transferidas para o *software AutoCad* versão 2012 para

cálculos de áreas toracoabdominais (Figura 12) e extrapolação tridimensional (Figura 13) para obtenção de volumes torácicos e análise de contribuição toracoabdominal na respiração. Todos os cálculos foram feitos após correção do fator de escala de cada imagem baseados no marcador adesivo com diâmetro conhecido, assim cada imagem recebeu tratamento individual. A extrapolação 3D foi feita a partir da inserção da medida do comprimento torácico na imagem 2D, sendo utilizado para isto, a ferramenta de extrusão encontrada no próprio *software*.

Nos fotogramas expiratórios e inspiratórios foram traçados compartimentos sobre o tórax e o abdômen a fim de analisar com maior precisão os diferentes comportamentos respiratórios, dessa forma obteve-se Tórax Superior (TXS), Tórax Inferior (TXI), Abdômen Superior (ABS) e Abdômen Inferior (ABI).

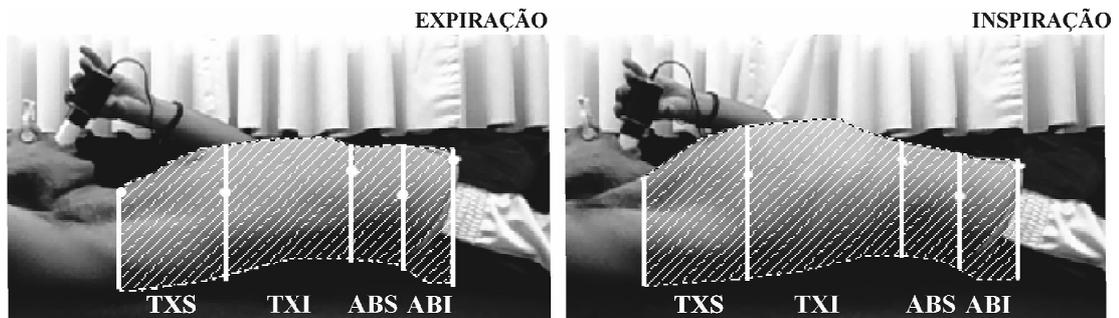


Figura 12. Modelo de secção toracoabdominal em compartimentos superiores com o Tórax Superior (TXS) e o Abdômen Superior (ABS) e compartimentos inferiores com Tórax Inferior (TXI) e Abdômen Inferior (ABI) para cálculo fotogramétrico bidimensional de áreas no momento da expiração e inspiração máxima.

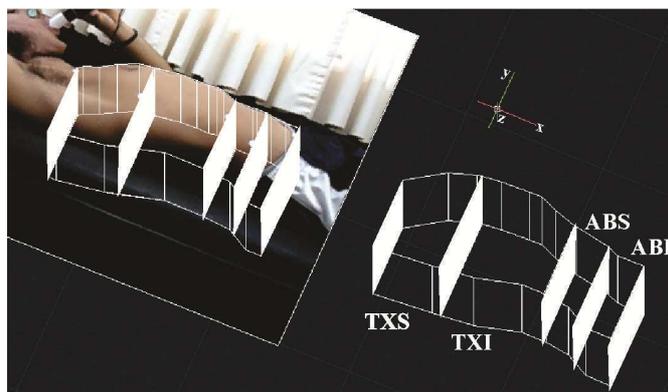


Figura 13. Modelo fotogramétrico tridimensional com secção toracoabdominal em compartimentos superiores com o Tórax Superior (TXS) e o Abdômen Superior (ABS) e compartimentos inferiores com Tórax Inferior (TXI) e Abdômen Inferior (ABI).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O tratamento dos resultados foi realizado por medidas de posição e dispersão (média e desvio padrão) com uso da estatística descritiva. Também aplicou-se estatística inferencial, a fim de aplicar técnicas para identificação de possíveis relações entre as variáveis. Ambos os procedimentos foram realizados com uso do programa *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 17.

Inicialmente foi feita a aplicação do teste *Kolmogorov-Smirnov* objetivando a análise de alguma diferença nas distribuições dos dados (MAROCO, 2007). A comparação entre os grupos de estudo foi averiguada com o uso do teste *t* para amostras independentes.

Aplicou-se o teste de Correlação de *Pearson* para verificação da hipótese entre volumes respiratórios e deslocamento toracoabdominal de superfície, assim como para teste de relação entre variáveis antropométricas e respiratórias. Consideraram-se fortes correlações valores superiores a 0,700, correlação moderada valores entre 0,300 e 0,699 (MAROCO, 2007). Utilizou-se o teste de regressão linear múltipla para estruturação de equações para predição de CVF e IP.

Por fim o teste gráfico de *Bland-Altman* foi aplicado para verificação da concordância entre o novo método aplicado junto ao procedimento espirométrico padrão. Os limites do método foram definidos com a diferença média $\pm 1,96$ desvio padrão, com intervalo de confiança de 95% (BLAND; ALTMAN, 1986).

4 RESULTADOS

A Tabela 1 mostra a média dos dados antropométricos coletados, apresentando os valores de todo o grupo e distintos por gênero. Notam-se diferenças estatísticas para a massa corporal, estatura, massa isenta de gordura e comprimento do tórax entre os gêneros, sendo essas variáveis que influenciam diretamente em testes respiratórios.

Tabela 1. Apresentação das médias dos valores antropométricos de todo o grupo e distintos por gênero.

Variáveis	Geral		Masculino		Feminino	
	Média	± DP	Média	± DP	Média	± DP
N	40		19		21	
Idade (anos)	15,40	± 0,98	15,25	± 1,13	15,57	± 0,87
Massa Corporal (kg)	61,29	± 12,27	70,03	± 14,25	55,11	± 6,12*
Estatura (m)	1,66	± 0,09	1,74	± 0,08	1,60	± 0,05*
IMC (kg.m ⁻²)	22,06	± 3,49	23,10	± 4,66	21,53	± 2,16
Gordura Corporal (%)	23,26	± 6,37	23,31	± 8,73	23,21	± 4,00
Tórax (cm)	25,54	± 1,87	26,26	± 2,03	24,89	± 1,55*
Massa Isenta de Gordura (kg)	46,91	± 7,21	42,52	± 4,08	52,29	± 6,59*

*p<0,05

Os valores do IMC dos avaliados (geral, meninos e meninas), encontram-se dentro da normalidade (percentil 75) (OGDEN *et al.*, 2002). O percentual de gordura para as meninas foi classificado como adequado, sendo essa classificação dada a valores de 15 a 25%. Para os meninos a classificação foi considerada acima da média, sendo 20% o limite para faixa percentual ideal (LOHMAN, 1986).

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios das variáveis: volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF₁), capacidade vital forçada (CVF), pico de fluxo expiratório (PFE), inspiração profunda (IP) e razão CVF/VEF₁ denominada índice de *Tiffeneau* (*Tiffeneau*). Encontraram-se diferenças significativas entre os gêneros em todas as variáveis analisadas, sendo os meninos aqueles com maiores valores.

Tabela 2. Valores do teste espirométrico realizado na posição decúbito dorsal. Dados médios, apresentados de todo o grupo e distintos por gênero.

Variáveis	Geral		Masculino		Feminino	
	Média	± DP	Média	± DP	Média	± DP
N	40		19		21	
VEF₁ (l)	3,22	± 0,82	3,90	± 0,72	2,83	± 0,49*
CVF (l)	3,87	± 0,91	4,66	± 0,76	3,29	± 0,50*
PFE (l/s)	6,50	± 2,41	8,68	± 1,97	5,14	± 1,43*
IP (l)	3,59	± 0,91	4,34	± 0,71	3,03	± 0,59*
Tiffeneau	84,96	± 6,40	83,81	± 6,24	86,10	± 6,56*

*p<0,05

As correlações entre as variáveis antropométricas com os índices respiratórios estão apresentados na Tabela 3. Notaram-se fortes correlações da variável Massa Corporal com a CVF (0,755) e com a IP (0,702). A variável Estatura correlacionou-se positivamente com VEF₁ (0,728), CVF (0,838) e com IP (0,772). Para a Idade e Percentual de Gordura não foi encontrada nenhuma correlação com as variáveis respiratórias. A análise distinta por gênero está apresentada no APÊNDICE C.

Tabela 3. Apresentação das correlações entre as variáveis antropométricas e respiratórias.

Variáveis	VEF ₁	CVF	PFE	Tiffeneau	IP
Idade	0,112	0,087	0,119	0,103	0,076
Massa corporal	0,691*	0,755*	0,644*	0,004	0,702*
Estatura	0,728*	0,838*	0,672*	-0,094	0,772*
IMC	0,352*	0,356*	0,338*	0,069	0,331*
Tórax	0,626*	0,692*	0,566*	-0,039	0,666*
Gordura	0,289	0,187	0,270	0,310	0,119

*p<0,05

A análise fotogramétrica bidimensional permitiu, num primeiro momento, o cálculo das áreas torácicas e abdominais dos indivíduos avaliados. Os Gráficos 1 e 2 ilustram os valores médios com seus desvios padrões para cada secção realizada, sendo elas Tórax Superior (TXS), Tórax Inferior (TXI), Abdominal Superior (ABS) e Abdominal Inferior (ABI) apresentados em um molde toracoabdominal generalizado. A soma de TXS e TXI resulta no valor total do Tórax (TXT) e a soma de ABS com ABI fornece o valor total

abdominal (ABT) os quais são obtidos no momento da expiração e inspiração. O Gráfico 1 mostra os valores para o grupo geral e o Gráfico 2 para o grupo dividido por gênero.

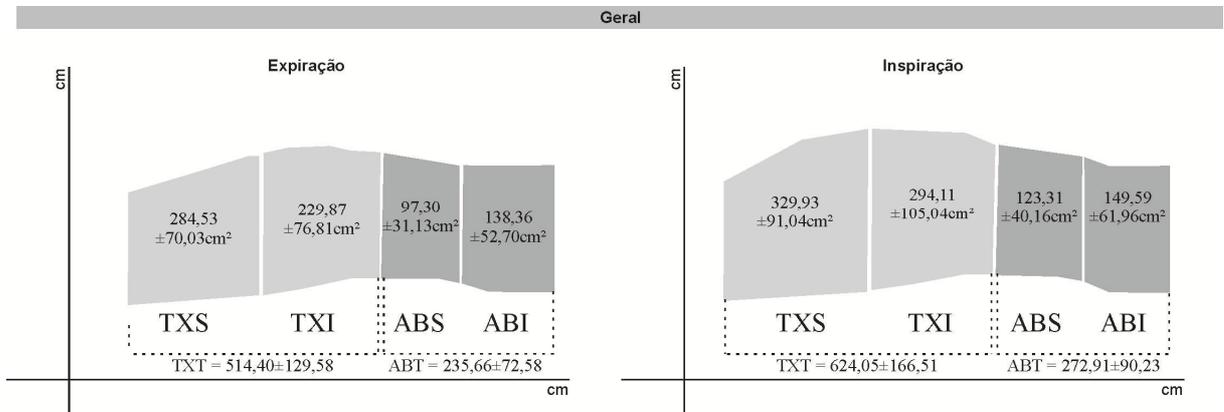


Gráfico 1. Modelo ilustrativo para representação dos valores médios gerais e desvios padrões das áreas de cada segmento torácico e abdominal calculados pela fotogrametria. Têm-se TXS (Tórax Superior), TXI (Tórax Inferior), TXT (Tórax Total), ABS (Abdominal Superior), ABI (Abdominal Inferior) e ABT (Abdominal Total).

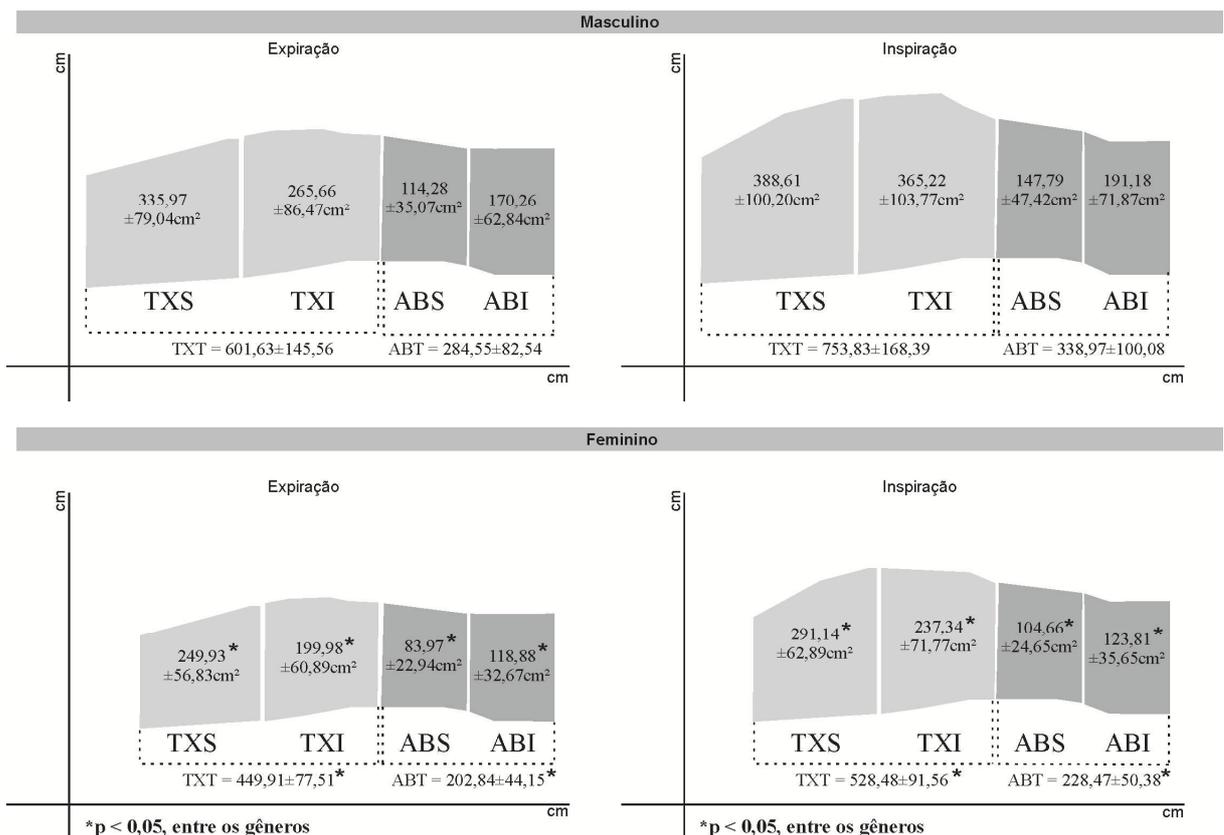


Gráfico 2. Modelo ilustrativo para representação dos valores médios divididos por gênero e desvios padrões das áreas de cada segmento torácico e abdominal calculados pela fotogrametria. Têm-se TXS (Tórax Superior), TXI (Tórax Inferior), TXT (Tórax Total), ABS (Abdominal Superior), ABI (Abdominal Inferior) e ABT (Abdominal Total).

Verificam-se diferenças significativas entre os gêneros para todos os compartimentos nos dois momentos respiratórios, onde meninos apresentam maiores áreas, podendo isso ser reflexo da diferença de estatura apresentada na Tabela 1.

A inserção da medida do comprimento do tórax possibilitou a extrapolação tridimensional da mobilidade respiratória durante o teste espirométrico, assim consegue-se o cálculo volumétrico de cada um dos compartimentos e da região como um todo. Os valores volumétricos médios com os desvios padrão para o grupo e dividido por gênero estão apresentados na Tabela 4. Encontram-se novamente diferenças significativas em todos os compartimentos quando analisados os gêneros.

Tabela 4. Valores volumétricos geral, masculino e feminino para os compartimentos respiratórios no momento expiratório e inspiratório.

	Geral		Masculino		Feminino	
	Média	± DP	Média	± DP	Média	± DP
<i>Expiração</i>						
TXS (l)	7,32	± 2,44	8,94	± 2,61	6,22	± 1,66*
TXI (l)	5,90	± 2,21	7,07	± 2,56	4,97	± 1,59*
TXT (l)	13,21	± 4,14	16,02	± 4,72	11,19	± 2,37*
ABS (l)	2,56	± 0,87	3,04	± 1,07	2,20	± 0,55*
ABI (l)	3,56	± 1,56	4,55	± 1,91	2,95	± 0,85*
ABT (l)	6,12	± 2,20	7,59	± 2,62	5,15	± 1,19*
ATotal (l)	19,33	± 6,18	23,61	± 7,17	16,34	± 3,30*
<i>Inspiração</i>						
TXS (l)	8,41	± 2,62	10,15	± 2,83	7,26	± 1,79*
TXI (l)	7,65	± 3,25	9,95	± 3,51	5,87	± 1,86*
TXT (l)	16,06	± 5,24	20,09	± 5,56	13,13	± 2,69*
ABS (l)	3,16	± 1,19	3,94	± 1,45	2,59	± 0,61*
ABI (l)	3,86	± 1,83	5,11	± 2,18	3,07	± 0,93*
ABT (l)	7,02	± 2,75	9,04	± 3,17	5,67	± 1,31*
ATotal (l)	23,08	± 7,77	29,14	± 8,51	18,80	± 3,58

* p<0,05

A partir dos valores obtidos das áreas e volumes na respiração foi realizada a razão entre o valor expiratório pelo inspiratório que possibilitou analisar a proporção de recrutamento médio de cada compartimento, assim para a mobilidade toracoabdominal valores mais próximos a 1 indicaram menor uso do compartimento. O Gráfico 3 mostra a razão do TXS, TXI, ABS e ABI distintos por gênero.

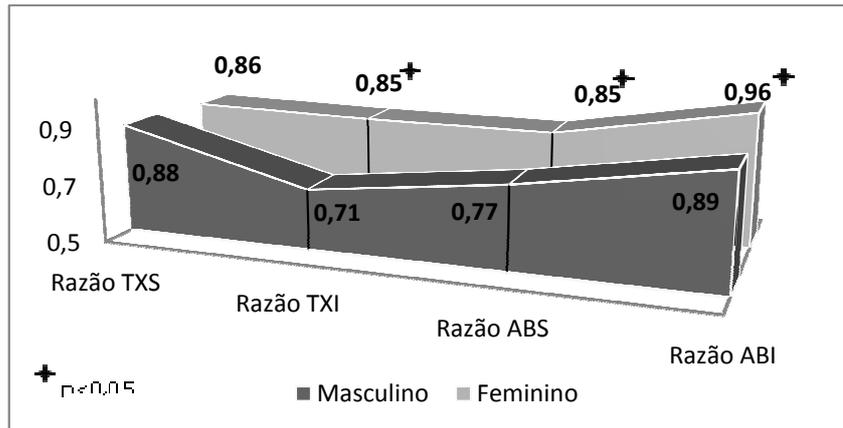


Gráfico 3. Comparação de uso de cada segmento fotogramétrico obtido pela razão dos valores expiratórios pelos inspiratórios, sendo que valores mais próximos a 1 indicam menor uso da região.

A partir do Gráfico 3 observou-se menor recrutamento da região ABI para ambos os gêneros. Meninos utilizaram em maior proporção a região TXI (0,71), seguido da região ABS (0,77). Meninas utilizaram com a mesma proporção a região TXI e ABS ambas com 0,85. Não foram detectadas diferenças estatísticas apenas para a variável Razão TXS entre os gêneros, apontando similaridade para este compartimento.

O Gráfico 4 tem o mesmo princípio do Gráfico 3, contudo trata os grupos apenas com divisão torácica, abdominal e total. Percebe-se que meninos apresentam maior mobilidade total, abdominal e torácica quando comparados com as meninas para a manobra respiratória.

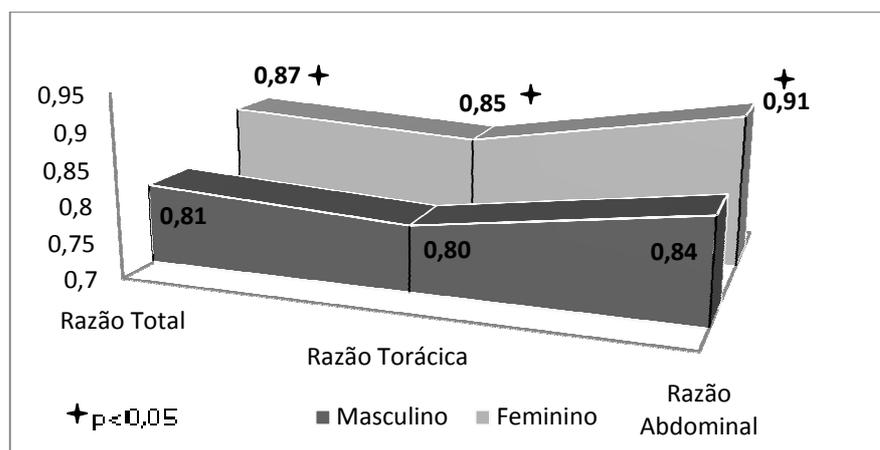


Gráfico 4. Comparação de uso torácico, abdominal e total, obtido pela razão dos valores expiratórios pelos inspiratórios, sendo que valores mais próximos a 1 indicam menor uso da região

A utilização das razões apresentou correlações com as provas respiratórias (APÊNDICE D), indicando relação entre a imagem e o teste espirométrico tradicional.

As Tabelas 5 e 6 objetivam analisar a correlação entre as áreas (Tabela 5) e volumes (Tabela 6) com a prova de função pulmonar, buscando verificar a concordância entre a variação de superfície observada na imagem com os valores aferidos pelo espirômetro.

Tabela 5. Correlações para áreas entre os valores respiratórios espirométricos e a análise fotogramétrica bidimensional.

	TXT	ABT	ATotal	TXT	ABT	ATotal
	Expiração			Inspiração		
VEF₁	0,645*	0,531*	0,631*	0,727*	0,564*	0,695*
CVF	0,655*	0,561*	0,650*	0,764*	0,626*	0,744*
PFE	0,667*	0,580*	0,668*	0,762*	0,619*	0,739*
Tiffeneau	0,029	-0,043	0,004	-0,046	-0,119	-0,074
IP	0,611*	0,554*	0,617*	0,724*	0,621*	0,715*

* p<0,05

Tabela 6. Correlações para volumes entre os valores respiratórios espirométricos e a análise fotogramétrica tridimensional.

	TXT	ABT	Vtotal	TXT	ABT	Vtotal
	Expiração			Inspiração		
VEF₁	0,668*	0,594*	0,659*	0,728*	0,616*	0,708*
CVF	0,698*	0,627*	0,691*	0,780*	0,664*	0,761*
PFE	0,697*	0,658*	0,701*	0,773*	0,665*	0,756*
Tiffeneau	0,057	0,036	0,051	0,017	0,016	0,017
IP	0,654*	0,609*	0,655*	0,739*	0,651*	0,728*

* p<0,05

Notam-se fortes correlações para o protocolo 2D e 3D, contudo a inserção da medida do comprimento do tórax para estudo 3D apresentou melhores valores de correlação para todos os pontos analisados. A ausência de correlações de áreas e volumes com o índice de *Tiffeneau* pode ser explicada pelo fato de tratar-se apenas de um critério de classificação.

Por fim buscou-se aplicar a metodologia de análise fotogramétrica para predição dos valores obtidos com o uso do espirômetro, para isso recorreu-se a uma regressão linear. Uma vez que medidas 3D apresentaram melhores valores estes foram utilizados para estruturação da regressão, que ao final apresentou um modelo para predição da CVF com precisão de $R = 0,931$, $R^2 = 0,866$, erro padrão = 0,353 e $p < 0,05$ (Equação 1). Também foi possível a predição do valor de IP com precisão de $R = 0,881$, $R^2 = 0,776$, erro padrão = 0,451 e $p < 0,05$ (Equação 2). Ambas as equações utilizam para a predição: Estatura (m), Comprimento do Tórax (cm) e Mobilidade Volumétrica (l) obtida pela diferença entre o volume toracoabdominal inspirado

pelo expirado, ambos calculados na extrapolação 3D. Os valores brutos das regressões da IP e CVF estão apresentados nos APÊNDICES E e F, respectivamente.

$$CVF = -8,572 + 5,108 \times Estatura + 0,138 \times Tórax + 0,120 \times Mobilidade Volumétrica \quad (1)$$

$$IP = -6,373 + 3,751 \times Estatura + 0,122 \times Tórax + 0,163 \times Mobilidade Volumétrica \quad (2)$$

A simulação de regressão com a variável de massa corporal, IMC, gordura corporal e idade são apresentados no APÊNDICE G. O valor médio geral para CVFprevista (CVFp) foi de $3,90 \pm 0,84$ litros e o valor de IPprevista (IPp) foi de $3,60 \pm 0,78$ litros. Para secção dos gêneros encontrou-se valores médios de $4,60 \pm 0,70$ e $4,24 \pm 0,67$ para CVFp e IPp, respectivamente nos meninos e valores de $3,33 \pm 0,40$ e $3,07 \pm 0,34$ para as mesmas variáveis nas meninas. As análises de regressão distintas por gênero estão apresentadas nos APÊNDICES H e I.

A concordância do método foi testada com o uso do gráfico de *Bland-Altman* e sua representação pode ser verificada no Gráfico 5 para CVF e no Gráfico 6 para IP.

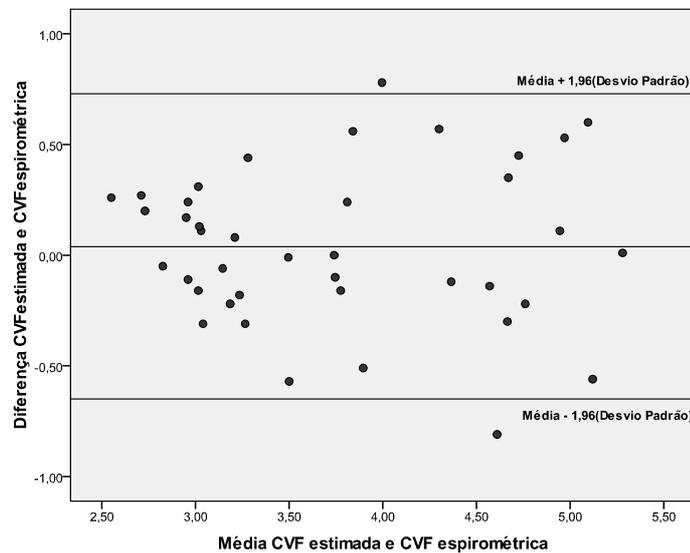


Gráfico 5. Análise de concordância de *Bland-Altman* para visualização da precisão do método fotogramétrico para predição de CVF.

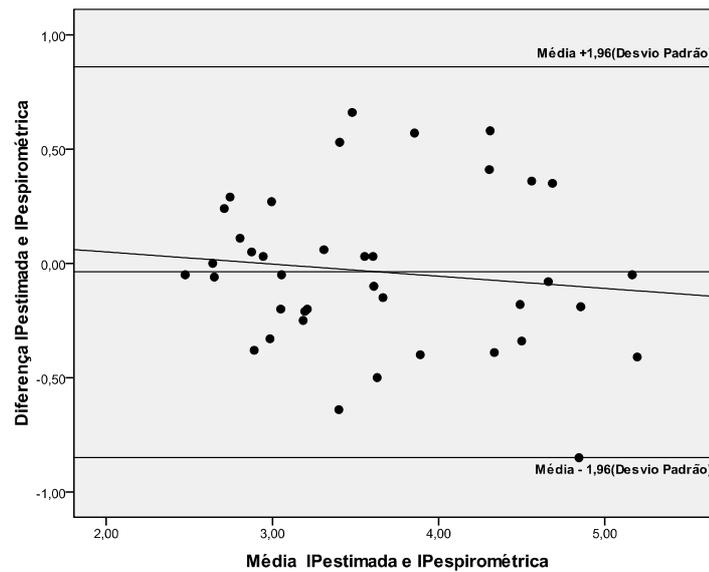


Gráfico 6. Análise de concordância de *Bland-Altman* para visualização da precisão do método fotogramétrico para predição de IP.

Análises gráficas utilizando-se da metodologia proposta por *Bland-Altman* mostram-se informativas, além de que, os autores colocam que através desse tipo de análise é possível detectar erros sistemáticos, assim como erros aleatórios em cada sujeito que compõem uma amostra (BLAND; ALTMAN, 1986). Detectaram-se dois pontos fora dos limites de concordância para predição da CVF e um ponto na região limítrofe para IP. Para IP encontrou-se uma tendência à subestimação dos valores.

5 DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Diferenças fisiológicas entre os gêneros são estudadas há décadas por diversos ramos da ciência, isso porque cada gênero possui sua peculiaridade que deve ser considerada em testes, exames, treinamentos, etc. (GUYTON; HALL, 2006; ORSANO *et al.*, 2011; SILVA; BEUNEN; MAIA, 2011).

Estudos colocam que até o período pré-puberdade são encontradas poucas ou nenhuma diferença significativa entre os gêneros para variáveis como massa corporal, estatura, espessura de dobras cutâneas e largura de ossos, contudo na pós-puberdade notam-se consideráveis mudanças para meninos e meninas (WILMORE; COSTILL, 2001; GALLAHUE; OZMUN, 2005). Malina, Bouchard e Beunen (1988) e o Centro para Controle e Prevenção de Doenças (*Center for Disease Control and Prevention - CDC*) evidenciaram que meninas apresentam-se com maior estatura e massa corporal que meninos no período de 10 aos 12 anos de idade (OGDEN *et al.*, 2002), isso porque elas passam pela puberdade mais cedo que os meninos.

A puberdade feminina trata de um período com uma maior produção de estrogênio, hormônio responsável pelo aumento de depósitos de gordura corporal, contudo essa diferença se inverte ao redor dos 14 anos, onde meninos chegam à puberdade e são submetidos a ação da testosterona, hormônio responsável pelo aumento da estatura e massa muscular (WELLS, 2007; SILVA *et al.*, 2010).

Nesse estudo a massa corporal, estatura e o comprimento do tórax apresentaram diferenças entre os gêneros, podendo isso ser explicado pelo período etário em que os avaliados se encontram (Tabela 1), tendo o grupo uma idade média de 15,40 anos.

Indicadores de estado nutricional como o IMC e o percentual de gordura tornaram-se ferramentas corriqueiras em avaliações físicas, isso porque distúrbios na gordura corporal representam problemas em todos os sistemas do corpo humano (WHO, 2006). Não se encontrou valores anormais para o IMC e percentual de gordura nos avaliados. As meninas tiveram sua massa corporal considerada como adequada pelos dois testes e os meninos foram classificados com leve aumento de gordura corporal pelas dobras cutâneas.

Variáveis antropométricas estão entre os principais agentes que interferem positivamente ou negativamente na ação respiratória (ALMEIDA; ZEFERINO; BARROS FILHO, 1999; PARREIRA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2012). A estatura é classificada

como um ponto atuante positivamente no desempenho respiratório, assim como a massa corporal isenta de gordura (PEREIRA; NEDER, 2002). Para Ochs-Balcon *et al.*, (2006) e Rasslan *et al.* (2004; 2009) a adiposidade pode influenciar negativamente na função pulmonar, sendo que o aumento da massa gorda pode afetar o tórax e o diafragma ocorrendo um aumento no esforço respiratório comprometendo o transporte de gases. O maior comprimento torácico visto para os meninos, também pode auxiliar na elasticidade toracopulmonar, sendo essa geometria um fator positivo no fluxo aéreo (GRISCOM; WOHL, 1985; DORNELES *et al.*, 2003).

5.2 CARACTERÍSTICAS RESPIRATÓRIAS

O teste de espirometria é considerado uma importante ferramenta de avaliação, quantificação e acompanhamento diagnóstico em vias respiratórias (KANTOR Jr., 1997; SUBBARAO *et al.*, 2004). Valores espirométricos superiores para meninos já estão previstos na literatura, onde se relata o gênero como uma variável responsável por cerca de 20% do valor obtido (SBPT, 2002). Os resultados deste estudo apontaram meninos com valores de cerca de 30% maior para as variáveis analisadas pelo teste espirométrico (Tabela 2), essa variação pode ser explicada pela associação entre gênero, estatura e massa isenta de gordura detectados na amostra.

Para a variável PFE, um estudo realizado com 1024 indivíduos no estado de Minas Gerais, com a mesma faixa etária média deste trabalho, encontrou valores $6,50 \pm 1,93$ l/s para meninos e $5,00 \pm 1,32$ l/s para meninas os quais se distanciam dos vistos neste, que encontrou valores mais altos de $8,68 \pm 1,97$ l/s para meninos e $5,14 \pm 1,43$ l/s para meninas (BOAVENTURA *et al.*, 2007). Esse indicativo ressalta um ponto constantemente levantado pela *American Thoracic Society* (ATS, 1991; MILLER *et al.*, 2005) da necessidade de valores de referência para cada grupo populacional, devido a diferentes realidades locais.

O impacto da antropometria na prova de capacidade vital forçada (CVF) se verificou com as correlações apresentadas na Tabela 3, onde se notam relações positivas entre estatura, massa corporal, comprimento do tórax e IMC com todas as medidas respiratórias.

Um estudo realizado com 122 crianças e adolescentes com objetivo de comparar a CVF e o VEF_1 predito por equações em diferentes categorias de IMC encontrou aumento dos valores respiratórios com o aumento do IMC (DRUMOND *et al.*, 2009). Corroborando com essa informação, outro estudo que avaliou 1231 adultos japoneses sem distúrbios respiratórios

encontrou novamente relações positivas entre as mesmas variáveis, apontando menor disfunção pulmonar no aumento do IMC (FUKAHORI *et al.*, 2010).

A respiração compreende um ato dinâmico que se fundamenta na diferença de pressão interna e externa da caixa torácica para captação do ar atmosférico. Uma vez inalado ou exalado o ar, essas ações acarretam deformações na superfície toracoabdominal percebidas em três diferentes direções: látero-lateral, crânio-caudal e ântero-posterior (Figura 14).

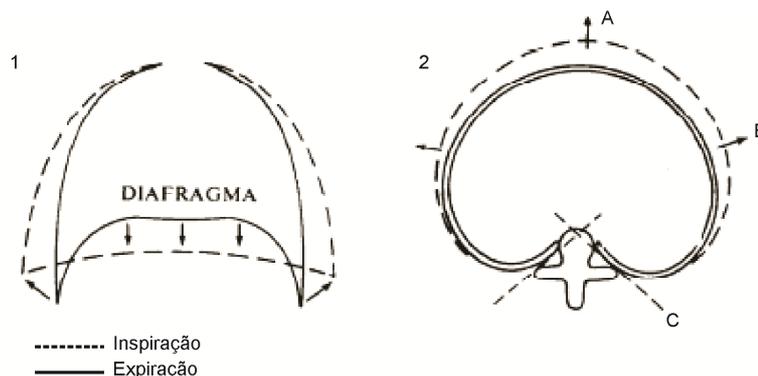


Figura 14. Aumento dos diâmetros torácicos durante a inspiração e expiração. A imagem 1 ilustra uma vista frontal do arcabouço torácico e a imagem 2 mostra um corte transversal da mesma região. As letras A, B e C presentes na imagem 2 referem-se às direções ântero-posterior, látero-lateral e crânio-caudal, respectivamente.

Fonte: Adaptado de West (2010, p.120)

Autores descrevem que as alterações mais significativas encontradas na inspiração e expiração são percebidas na vista ântero-posterior devido à ação braço de bomba². De Groote *et al.* (1997) relataram que a alteração predominante é vista no sentido ântero-posterior, estes e outros autores consideram secundária a alteração no sentido látero-lateral e terciária a variação crânio-caudal na respiração (WILSON *et al.*, 1987; WEST, 2010). Os achados nesse estudo corroboram com essas afirmações quando se detecta o impacto positivo do comprimento do tórax com variáveis respiratórias observadas na Tabela 3, além das correlações detectadas nas imagens com medidas respiratórias que serão discutidas no item 5.3.

5.3 ANÁLISE FOTOGRAMÉTRICA

Dado o importante papel do sistema respiratório para a vida, quantificar suas propriedades tem sido foco de estudo em inúmeros estudos, que se utilizam de equipamentos como pletismógrafos (KONNO; MEAD, 1967), magnetômetros (MEAD; PETERSON; GRIMBY, 1967), câmeras de luz infravermelha (FERRIGNO *et al.*, 1994), ressonância magnética (KONDO *et al.*, 2000), análises videogramétricas tridimensionais (SARRO;

² Ver capítulo 2.2

SILVATTI; BARROS, 2003; LOULA *et al.*, 2004; SILVATTI; SARRO; BARROS, 2005) entre outros. Equipamentos esses que, de maneira geral, dependem de um laboratório específico para seu uso, com recursos financeiros muitas vezes inviáveis para a realidade política e pública brasileira. Dessa forma, instrumentos que possam atender diferentes realidades nacionais vêm para contribuir na inclusão de avaliações respiratórias nos mais diversos âmbitos da saúde e do esporte.

Entre os métodos considerados de baixo custo encontra-se a análise bidimensional, que tem se mostrado eficiente em estudos realizados sobre o sistema respiratório (RICIERI ; COSTA; ROSÁRIO FILHO, 2008; RICIERI; ROSÁRIO FILHO, 2008; 2009; RIPKA *et al.*, 2012). Entre as principais vantagens observadas nesse tipo de análise destacam-se a facilidade de transporte e o baixo custo (RICIERI; ROSÁRIO FILHO, 2009). Ademais, estudos mostram que métodos invasivos e métodos que utilizam utensílios como bocais podem atuar negativamente na quantificação respiratória (TOBIN *et al.*, 1983), impacto negativo eliminado com o uso da técnica de fotogrametria.

Um estudo realizado com 17 crianças de idades entre nove e 11 anos, espirometricamente normais, aplicando a metodologia 2D encontrou valores médios de $244,96 \pm 76,39\text{cm}^2$ para região torácica e $141,12 \pm 49,59\text{cm}^2$ para região abdominal (RIPKA *et al.*, 2012), os valores equivalentes para o presente estudos são de $624,05 \pm 166,51\text{cm}^2$ e $272,91 \pm 90,23\text{cm}^2$ respectivamente. A elevada diferença vai ao encontro de pontos fisiológicos já levantados quanto a estatura, idade e massa corporal. Tem-se para a estatura e massa corporal média deste estudo valores de $1,66 \pm 0,09\text{m}$ e $61,29 \pm 12,27\text{kg}$ contra $1,39 \pm 0,09\text{m}$ e $34,97 \pm 10,21\text{kg}$ do estudo anterior. Esses dados indicam existência de possibilidade da detecção de valores médios de áreas para cada faixa etária. Os achados no presente estudo, assim como o descrito por Ripka *et al.* (2012) mostram maiores áreas torácicas e abdominais em meninos.

5.3.1 Fotogrametria na quantificação respiratória

A secção do compartimento toracoabdominal em subcompartimentos (TXS, TXI, ABS e ABI) auxilia na identificação da contribuição de cada região no ato respiratório (LOULA *et al.*, 2004). Assim, os resultados deste estudo mostram possibilidade da detecção da variação de cada subcompartimento.

Sobre o ato respiratório tem-se que o aumento diametral dos arcos costais associado com a contração diafragmática para expandir o tórax gera o momento da inspiração da dinâmica respiratória, assim como o recolhimento elástico pulmonar e do diafragma são percebidos no momento expiratório da respiração (GUYTON; HALL, 2006). Em manobras expiratórias forçadas relata-se a contração do músculo abdominal e intercostal interno, já as contrações dos músculos intercostais externos e músculos acessórios como esternocleidomastóideo são verificadas para inspiração forçada (ROMAGNOLI *et al.*, 2006; RATNOVSKY; ELAD; HALPERN, 2008).

A respiração humana pode ser classificada em três tipos básicos: apical, torácico ou costal, no qual nota-se maior mobilidade na região do TXS e TXI; padrão basal, abdominal ou diafragmático com maior recrutamento ABS e ABI na manobra inspiratória e padrão simétrico, toracoabdominal ou misto onde se vê similaridade no recrutamento das regiões (COSTA, 1999), sendo essas classificações uma avaliação qualitativa e subjetiva da expansibilidade torácica (DA SILVA CALDEIRA *et al.*, 2007).

A cirtometria é uma ferramenta comumente aplicada no âmbito da saúde para análises de padrão respiratório, a técnica mede através de uma fita métrica posicionada na altura axilar, xifóide e basal o coeficiente respiratório que é calculado como a diferença entre o valor da circunferência máxima inspiratória e o valor equivalente expiratório (CAROMANO *et al.*, 2003; SIMON; CARPES, 2006; LEHMKUHL *et al.*, 2007; BASSO *et al.*, 2011). Valores médios para normalidade do coeficiente respiratório são controversos na literatura, onde se encontra variabilidade de 4 a 11 cm (CARVALHO, 1994; LIANZA, 2001). Ademais o método, por si só, é considerado ineficiente para predição de volumes pulmonares (DA SILVA CALDEIRA *et al.*, 2007).

A técnica de fotogrametria consistiu na aplicação de conceitos cirtométricos associados com pontos pletismográficos para o estudo qualitativo da mobilidade toracoabdominal. Os resultados apresentados no Gráfico 3 mostram meninos com maiores deslocamentos dos compartimentos TXI, ABS e ABI quando comparados às meninas.

Diferentes estudos pletismográficos em adultos e idosos mostram não haver diferenças entre gêneros para mobilidade toracoabdominal durante ventilação tranquila (FELTRIM, 1994; VERSCHAKELLEN; DEMEDTS, 1995; BRITTO *et al.*, 2009; PARREIRA *et al.*, 2010). Este estudo, por sua vez, mostra padrões respiratórios distintos por gêneros, onde meninos apresentam maior uso TX (padrão costal), essa contraposição com estudos anteriores pode ser devido à manobra respiratória forçada solicitada ou devido às idades dos participantes.

O resultado de uma respiração eficiente é aquele onde se nota o menor dispêndio energético e melhor difusão de oxigênio circulante. Dentre as classificações respiratórias tem-se o padrão costal com elevado gasto energético por recrutar uma musculatura acessória de elevada demanda energética (FOX, 2002). Esse comportamento, sem profundidade, acarreta uma redução da capacidade de deslocamento abdominal, impossibilitando a eficiência da renovação aérea, sendo esse padrão mais comumente observado em exercícios físicos intensos. A restrição do deslocamento abdominal pode levar o indivíduo a uma fadiga respiratória, pois ao invés de ocorrer uma protrusão do abdômen e da grade costal como em uma respiração normal, utiliza-se a musculatura intercostal e acessória, ação que puxa o diafragma para dentro da cavidade torácica, que por sua vez limita a complacência pulmonar (RATNOVSKY; ELAD; HALPERN, 2008; WEST, 2010) conforme ilustrado na Figura 15.

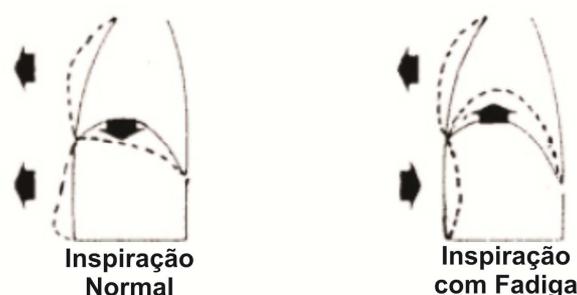


Figura 15. Representação do comportamento respiratório em exercícios intensos. O relaxamento diafragmático durante a inspiração normal é substituído pela sucção deste e do abdômen na inspiração com fadiga.
Fonte: Adaptado de West (2010).

5.3.2 Fotogrametria para predição respiratória

Equações para predição de valores respiratórios são encontradas na literatura visando estabelecer valores de previsão para variáveis como a CVF, VEF₁ e CV, contudo sabe-se que a variabilidade pode chegar até 20% do valor real, principalmente para a CVF e o VEF₁ (GLINDMEYER III, 1981; KULICH *et al.*, 2005; WU *et al.*, 2009). Testes estatísticos de regressão são constantemente encontrados nas principais equações de predições respiratórias, onde se tem a estatura como principal variável independente seguido do gênero e idade (POLGAR, 1971; HSU *et al.*, 1979).

A predição para CVF e IP neste estudo apresentou boa precisão, visto que, capacidades inspiratórias sofrem inúmeros impactos técnicos como o treinamento para realização da prova, tal como fatores das individualidades biológicas (ATS, 1991). Este

estudo não contemplou a predição do VEF₁. Os resultados encontrados para inclusão apenas da estatura (APÊNDICE J) para predição apresentaram menor potencial quando comparados com a inclusão das medidas fotogramétricas e comprimento do tórax conforme apresentados pelas Equações 1 e 2.

Apesar dos resultados encontrados com a aplicação desta metodologia, análises fotogramétricas em 2D e 3D ainda carecem de comparação com métodos laboratoriais amplamente validados e utilizados para estudos da cinemática respiratória como a pletismografia por indutância e sistemas de análises de imagens tridimensionais.

A potencialidade deste método de análise busca preencher lacunas encontradas no dia-a-dia de inúmeros profissionais da saúde, a carência de equipamentos de fácil acesso e baixo custo para avaliações de aptidão física. Vale ressaltar que esse tipo de avaliação difere de um exame médico, sendo este responsável, por exemplo, pela mensuração da condição de saúde para patologias (QUEIROGA, 2005). A avaliação de aptidão, por sua vez, auxilia na descrição individual da condição física, no acompanhamento e ajuste e prescrição de programas de exercícios, agente quantificador de características físicas, seleções esportivas entre outros.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A fotogrametria para estudos de movimentos toracoabdominais por meio da aplicação de análises bidimensionais e tridimensionais em imagens adquiridas com a utilização de câmera filmadora se mostrou uma ferramenta útil e reproduzível na correlação com volumes respiratórios obtidos pelo uso do espirômetro.

Análises tridimensionais, tais como utilizadas neste trabalho, representam um novo marco para esse tipo de avaliação, mostrando maior precisão quando comparado ao estudo em duas dimensões. No decorrer do estudo, foi possível verificar um tipo de comportamento respiratório em adolescentes, detectaram-se meninos com maiores mobilidades para as regiões de tórax superior (0,71♂, 0,85♀) e abdômen superior (0,79♂, 0,85♀) e inferior (0,90♂, 0,97♀) $p < 0,05$, quando comparados com as meninas.

Ao observar o grupo de maneira geral, todos os avaliados foram classificados como normais a partir do uso do espirômetro, contudo as medidas para os meninos foram melhores em todos os testes, sendo obtidos os valores de $3,90 \pm 0,72$ l, $4,66 \pm 0,76$ l, $8,68 \pm 1,97$ l/s, $4,34 \pm 0,71$ l para as variáveis VEF₁, CVF, PFE e IP, respectivamente, contra $2,83 \pm 0,49$ l, $3,29 \pm 0,50$ l, $5,14 \pm 1,43$ l/s e $3,03 \pm 0,59$ l para as mesmas variáveis nas meninas.

Foram encontradas diferenças entre os gêneros para mobilidade toracoabdominal, tendo os meninos maiores mobilidades durante a prova solicitada. Calcularam-se valores de correlação de 0,708, 0,761, 0,756 e 0,728 contra 0,695, 0,744, 0,739 e 0,715 entre as variáveis VEF₁, CVF, PFE e IP com a medida de área e volume, respectivamente.

O modelo fotogramétrico computacional de reprodução tridimensional a partir de imagens bidimensionais foi realizado a partir do posicionamento de cinco marcadores adesivos nas referências anatômicas de: projeção da cicatriz umbilical, ângulo inferior da 10ª costela, projeção do manúbrio do esterno, projeção da apófise xifóide do esterno e espinha ilíaca ântero-superior direita; fixados em adolescentes na posição decúbito dorsal. Somado com a filmagem da prova de Capacidade Vital Forçada (CVF) e a extração dos fotogramas referentes aos pontos de máxima inspiração e expiração, associados com a coleta das medidas de estatura e comprimento torácico foi possível equacionar valores de predição para CVF e Volume Inspirado em manobra profunda (IP).

As equações para predição apresentaram R² e erro padrão de 0,866 e 0,353 para CVF e 0,776 e 0,451 para IP, tendo suas concordâncias testadas pelo teste gráfico de *Bland-Altman*.

A aplicação da análise respiratória por imagem, por tratar-se de um método relativamente simples, rápido e de fácil transportabilidade, possibilitará a utilização de testes

pulmonares em diversos ambientes, tais como escolas, academias, clubes, etc. Ademais, estudos fotogramétricos em adolescentes representam um avanço na literatura, uma vez que análises respiratórias por imagem restringiam-se a crianças e adultos.

Essa pesquisa possibilitou responder aos objetivos propostos, contudo sugere-se para próximos estudos a avaliação da análise fotogramétrica em manobras de ventilação tranquila a fim de testar a sensibilidade do método em pequenos deslocamentos toracoabdominais. Há também a necessidade de aplicação do método em diferentes populações, tal como a necessidade de estudos com os indivíduos analisados em diferentes posições, visto que, essa é uma variável que altera os valores respiratórios.

REFERÊNCIAS

ACSM, AMERICAN COLLEGE SPORTS MEDICINE. **ACSM's exercise management for persons with chronic diseases and disabilities**. Illinois: Human Kinetics Publishers 2003.

AIRES, Margarida M. **Fisiologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

ALMEIDA, C. C. B.; ZEFERINO, A. M. B.; BARROS FILHO, A. A. Crescimento e função pulmonar; Growth and pulmonary function. **Rev. Ciênc. Méd.**, v. 8, n. 3, p. 85-92, 1999.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva. **Rev. Bras. Educ. Fís. Esp.**, v. 21, p. 61-85, 2007.

ATS, AMERICAN THORACIC SOCIETY. American Thoracic Society, Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 144, n. 5, p. 1202-18, 1991.

BARAÚNA, M. A.; DUARTE, F.; SANCHEZ, H. M.; CANTO, R. S. T.; MALUSÁ, S.; CAMPELO-SILVA, C. D. et al. Evaluation of the static balance lower limb amputees by means of computerized biophotogrammetry. **Rev. Bras. de Fisio.**, v. 10, n. 1, p. 83-90, 2006.

BARAÚNA, MÁRIO A. **Amputado de coxa, avaliação da funcionalidade, do esquema corporal, da postura e da marcha**. 1997. 254 p. Dissertação (Doutorado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.1997

BARRETO, S. S. M. Volumes pulmonares. **J. Pneumol.**, v. 28, n. 3, p. 83-94, 2002.

BARROS, R. M. L.; BRENZIKOFER, R.; LEITE, N. J.; FIGUEROA, P. J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Rev. Bras. Eng. Biomed.**, v. 15, n. 1-2, p. 79-86, 1999.

BASSO, R. P.; REGUEIRO, E. M. G.; JAMAMI, M.; DI LORENZO, V. A. P.; COSTA, D. Relação da medida da amplitude tóraco-abdominal de adolescentes asmáticos e saudáveis com seu desempenho físico. **Rev. Fisioter. Mov.**, v. 24, n. 1, p. 107-14, 2011.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The Lancet**, v. 327, n. 8476, p. 307-10, 1986.

BOAVENTURA, C. M.; AMUY, F. F.; FRANCO, J. H.; SGARBI, M. E.; MATOS, L. B. Valores de referência de medidas de pico de fluxo expiratório máximo em escolares; Peak expiratory flow rate reference values in students. **Arq. Méd. ABC**, v. 32, n. Supl. 2, p. S30-S4, 2007.

BOMPA, Tudor O. **A periodização no treinamento esportivo**. São Paulo: Manole, 2001.

BRITTO, R. R.; ZAMPA, C. C.; DE OLIVEIRA, T. A.; PRADO, L. F.; PARREIRA, V. F. Effects of the aging process on respiratory function. **Gerontology**, v. 55, n. 5, p. 505-10, 2009.

CALA, S. J.; KENYON, C. M.; FERRIGNO, G.; CARNEVALI, P.; ALIVERTI, A.; PEDOTTI, A. et al. Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. **J. Appl. Physiol.**, v. 81, n. 6, p. 2680-9, 1996.

CAROMANO, F. A.; DURIGON, O. F. S.; LANDABURU, C.; PARDO, M. S. Estudo comparativo de duas técnicas de avaliação da mobilidade torácica em mulheres jovens e idosas saudáveis; Comparative evaluation of two techniques of evaluation of chest mobility in young and elderly healthy women. **Fisioter. Bras.**, v. 4, n. 5, p. 348-52, 2003.

CARVALHO, Alencar A. **Semiologia em reabilitação**. 1.ed. São Paulo: Atheneu, 1994.

CASTRO, Sebastião V. **Anatomia fundamental**. São Paulo: Editôra McGraw-Hill do Brasil, 1972.

COELHO, Luiz; BRITO, Jorge N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007.

COOPER, Donald; SCHINDLER, Pamela. **Métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2003.

COSTA, Dirceu. **Fisioterapia respiratória básica**. São Paulo: Atheneu, 1999.

DA GAMA, A. E. F. **Eletromiografia e pletismografia óptico-eletrônica na avaliação respiratória**. 2011. 54 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011

DA SILVA CALDEIRA, V.; STARLING, C. C. D.; BRITTO, R. R.; MARTINS, J. A.; SAMPAIO, R. F.; PARREIRA, V. F. Precisão e acurácia da cirtometria em adultos saudáveis. **J. Bras. Pneumol.**, v. 33, n. 5, p. 519-26, 2007.

DE GROOTE, A.; WANTIER, M.; CHERON, G.; ESTENNE, M.; PAIVA, M. Chest wall motion during tidal breathing. **J. Appl. Physiol.**, v. 83, n. 5, p. 1531-7, 1997.

DE TROYER, A.; ESTENNE, M. Functional anatomy of the respiratory muscles. **Clin. Chest Med.**, v. 9, n. 2, p. 175, 1988.

DORNELES, N. A.; ROSÁRIO FILHO, N. A.; RIEDI, C. A.; BOGUSZEWSKI, M. C.; BARROS, J. A. Valores espirométricos de crianças e adolescentes com baixa estatura. **J. Pneumol.**, v. 29, n. 4, p. 183, 2003.

DRUMOND, S. C.; FONTES, M. J. F.; DE ASSIS, I.; DUARTE, M. A.; LAMOUNIER, J. A.; ORLANDI, L. C. L. et al. Comparação entre três equações de referência para a espirometria em crianças e adolescentes com diferentes índices de massa corpórea. **J. Bras. Pneumol.**, v. 35, n. 5, p. 415-22, 2009.

FELTRIM, M. **Estudo do padrão respiratório e da configuração tóraco-abdominal em indivíduos normais, nas posições sentada, dorsal e laterais, com o uso de pletismografia respiratória por indutância.** 1994. 105 p., Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.1994

FERRIGNO, G.; BORGHESE, N. A.; PEDOTTI, A. Pattern recognition in 3D automatic human motion analysis. **ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.**, v. 45, n. 4, p. 227-46, 1990.

FERRIGNO, G.; CARNEVALI, P.; ALIVERTI, A.; MOLTENI, F.; BEULCKE, G.; PEDOTTI, A. Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. **J. Appl. Physiol.**, v. 77, n. 3, p. 1224-31, 1994.

FOX, Stuart I. **Human physiology.** 12.ed. New York: LAVOISIER, 2002.

FUKAHORI, S.; MATSUSE, H.; TAKAMURA, N.; TSUCHIDA, T.; KAWANO, T.; FUKUSHIMA, C. et al. Body mass index correlated with forced expiratory volume in 1 second/forced vital capacity in a population with a relatively low prevalence of obesity. **Chin. Med. J.**, v. 123, n. 20, p. 2792-6, 2010.

GALLAHUE, David L.; OZMUN, John C. **Compreendendo o desenvolvimento motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos.** 3.ed. São Paulo: Phorte, 2005.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.

GLINDMEYER III, H.W. Predictable confusion.. **J. Occup. Med.**, v. 23, n. 12, p. 845, 1981.

GOLDMAN, M. D.; MEAD, J. Mechanical interaction between the diaphragm and rib cage - Volume-pressure characteristics of rib cage-diaphragm interaction in standing subjects during voluntary relaxation. **J. Appl. Physiol.**, v. 35, p. 197-204, 1973.

GRISCOM, N. T.; WOHL, M. E. Dimensions of the growing trachea related to body height. Length, anteroposterior and transverse diameters, cross-sectional area, and volume in subjects younger than 20 years of age. **Am. Rev. Respir. Dis.**, v. 131, n. 6, p. 840, 1985.

GUYTON, Arthur C.; HALL, John E. **Tratado de fisiologia médica.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HALL, Susan J. **Biomecânica básica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan 2005, p.2.

HAMILL, Joseph; KNUTZEN, Kathleen M. **Bases biomecânicas do movimento humano.** 3.ed. São Paulo: Manole, 2011.

HILL, N. S. Noninvasive ventilation for chronic obstructive pulmonary disease. **Respir. Care**, v. 49, n. 1, p. 72-89, 2004.

HOCHMAN, B.; NAHAS, F. X.; FERREIRA, L. M. Photography in medical research. **Acta Cir. Bras.**, v. 20, n. 3 Suppl 2, p. 19-25, 2005.

HSU, K. H. K.; JENKINS, D. E.; HSI, B. P.; BOURHOFER, E.; THOMPSON, V.; TANAKAWA, N. et al. Ventilatory functions of normal children and young adults—Mexican-American, white, and black. I. Spirometry. **J Pediatr.**, v. 95, n. 1, p. 14-23, 1979.

IUNES, D. H.; BEVILAQUA-GROSSI, D.; OLIVEIRA, A. S.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S. Análise comparativa entre avaliação postural visual e por fotogrametria computadorizada. **Rev. Bras. Fisioter.**, n. 4, p. 308-15, 2009.

IUNES, D. H.; CASTRO, F. A.; SALGADO, H. S.; MOURA, I. C.; OLIVEIRA, A. S.; BEVILAQUA-GROSSI, D. Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria. **Rev. Bras. Fisioter.**, v. 9, n. 3, p. 327-34, 2005.

KANTOR Jr, O. Testes de função pulmonar em crianças e adolescentes. **J. Pediatr.**, v. 73, n. 3, p. 145-50, 1997.

KAPANDJI, Adalbert I. **Fisiologia articular: tronco e coluna vertebral**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KONDO, T.; KOBAYASHI, I.; TAGUCHI, Y.; OHTA, Y.; YANAGIMACHI, N. A dynamic analysis of chest wall motions with MRI in healthy young subjects. **Respirology**, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2000.

KONNO, K.; MEAD, J. Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. **J. Appl. Physiol.**, v. 22, n. 3, p. 407-22, 1967.

KOTANI, T.; MINAMI, S.; TAKAHASHI, K.; ISOBE, K.; NAKATA, Y.; TAKASO, M. et al. An analysis of chest wall and diaphragm motions in patients with idiopathic scoliosis using dynamic breathing MRI. **Spine**, v. 29, n. 3, p. 298, 2004.

KULICH, M.; ROSENFELD, M.; CAMPBELL, J.; KRONMAL, R.; GIBSON, R.L.; GOSS, C.H. et al. Disease-specific reference equations for lung function in patients with cystic fibrosis. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 172, n. 7, p. 885-91, 2005.

LAGHI, F.; TOBIN, M. J. Disorders of the respiratory muscles. **Am. J. Resp. Crit. Care Med.**, v. 168, n. 1, p. 10-48, 2003.

LAYBOURNE, Kit. **The animation book: a complete guide to animated filmmaking--from flip-books to sound cartoons to 3-D animation**. New York: Three Rivers Press, 1998.

LEHMKUHL, E.; DAS NEVES, F. M.; PANIZZI, E. A.; DE ANDRADE PAMPLONA, C. M.; KERKOSKI, E. A mobilidade torácica avaliada em diferentes regiões através da técnica de cirtometria em indivíduos saudáveis. **IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação da Universidade do Vale da Paraíba**. Paraíba: 1589-92 p. 2007.

LIANZA, Sérgio. **Medicina de reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

LOHMAN, T. G. Applicability of body composition techniques and constants for children and youth. **Exerc. Sport Sci. Rev.**, v. 14, n. 1, p. 325-57, 1986.

LOULA, C. M. A.; PACHÊCO, A. L.; SARRO, K. J.; BARROS, R. M. L. Análise de volumes parciais do tronco durante a respiração por videogrametria. **Rev. Bras. Biomec.**, v. 9, n. 5, p. 21-7, 2004.

MAGAZONI, Valéria S. **Estudo correlacional entre a expansibilidade da caixa torácica ea capacidade vital pulmonar nos indivíduos portadores e não-portadores de espondilite anquilosante**. 2000. XX p. Dissertação Departamento Acadêmico de Fisioterapia, Centro Universitário do Triângulo Mineiro, Uberlândia.2000

MALINA, R. M.; BOUCHARD, C.; BEUNEN, G. Human growth: selected aspects of current research on well-nourished children. **Ann. Rev. Anthropol.**, v. 17, p. 187-219, 1988.

MARIEB, ELAINE N.; HOEHN, KATJA. **Anatomia e Fisiologia**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

MAROCO, João. **Statistical Analysis with SPSS application**. Lisboa: Edições Silabo 2007.

MAYNARD, V.; BIGNALL, S.; KITCHEN, S. Effect of positioning on respiratory synchrony in non ventilated pre term infants. **Physiother. Res. Int.**, v. 5, n. 2, p. 96-110, 2000.

MCARDLE, William; KATCH, Frank; KATCH, Victor. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

MEAD, J.; PETERSON, N.; GRIMBY, G. Pulmonary ventilation measured from body surface movements. **Science**, v. 156, n. 3780, p. 1383, 1967.

MEDIA, NUCLEUS MEDICAL. Respiratory System. Kennesaw, 2011. Disponível em: < www.nucleusinc.com >. Acesso em: 12 mar 2012.

MILLER, M. R.; CRAPO, R.; HANKINSON, J.; BRUSASCO, V.; BURGOS, F.; CASABURI, R. et al. General considerations for lung function testing. **Eur. Respir. J.**, v. 26, n. 1, p. 153, 2005.

MORROW, James R.; JACKSON, Allen; DISCH, James; MOOD, Dale. **Medida e avaliação do desempenho humano**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

MUYBRIDGE, Eadweard. **Muybridge's Complete human and animal locomotion: all 781 plates from the 1887 Animal locomotion**. Mineola: Dover Publications, 1887. Disponível em: <http://www.laurencemillergallery.com/muybridge_animalLocomotion.htm>. Acesso em: 15 abr 2012.

NUSSBAUM, Martha C. **Aristotle's De Motu Animalium**. Princeton: Princeton University Press, p. 165-220, 1978.

OCHS-BALCOM, H. M.; GRANT, B. J. B.; MUTI, P.; SEMPOS, C. T.; FREUDENHEIM, J. L.; TREVISAN, M. et al. Pulmonary Function and Abdominal Adiposity in the General Population. **Chest**, v. 129, n. 4, p. 853-62, 2006.

OGDEN, C. L.; KUCZMARSKI, R. J.; FLEGAL, K. M.; MEI, Z.; GUO, S.; WEI, R. et al. Centers for Disease Control and Prevention 2000 growth charts for the United States: improvements to the 1977 National Center for Health Statistics version. **Pediatrics**, v. 109, n. 1, p. 45-60, 2002.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Doenças crônico-degenerativas e obesidade: estratégia mundial sobre alimentação saudável, atividade física e saúde**. 2006. Disponível em: <Doenças crônico-degenerativas e obesidade: estratégia mundial sobre alimentação saudável, atividade física e saúde >. Acesso em: 6 maio 2012.

ORSANO, V. S. M.; LOPES, R. S.; ANDRADE, D. T.; PRESTES, J. Estilo de vida e níveis de aptidão física relacionada à saúde em adolescentes. **R. Bras. Ci. e Mov.**, v. 18, n. 4, p. 81-9, 2011.

PAIXÃO, A.P.S. **Tórax e Mecânica Respiratória**. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/fisioterapiaufmg2010/aula-x-mecnica-respiratria>>. Acesso em: 22 abr 2012.

PARREIRA, V. F.; BUENO, C. J.; FRANÇA, D. C.; VIEIRA, D. S. R.; PEREIRA, D. R.; BRITTO, R. R. Padrão respiratório e movimento toracoabdominal em indivíduos saudáveis: influência da idade e do sexo. **Rev. Bras. Fisioter.**, v. 14, n. 5, p. 411-6, 2010.

PEREIRA, C. A. C.; JANSEN, J. M.; BARRETO, S. S. M.; MARINHO, J.; SULMONETT, N.; DIAS, R. M. Espirometria. **J. Pneumol.**, v. 28, n. Supl 3, p. 1-82, 2002.

PEREIRA, C. A. C.; NEDER, J. A. Diretrizes para testes de função pulmonar. **J. Pneumol.**, v. 28, n. Supl 3, p. S1-238, 2002.

PEREIRA, CAC. Espirometria. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. Diretrizes para Testes de Função Pulmonar. **J. Pneumol.**, v. 28, n. Supl 3, p. S44-S71, 2002.

PEREZ, A.; MULOT, R.; VARDON, G.; BAROIS, A.; GALLEGRO, J. Thoracoabdominal pattern of breathing in neuromuscular disorders. **Chest**, v. 110, n. 2, p. 454-61, 1996.

PETROSKI, Edio L. **Antropometria: técnicas e padronizações**. Blumenau: Nova Letra, 2007.

PIERSON, W. A Photogrammetric Technique For The Estimation Of Surface Area And Volume. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 110, p. 109–112, 1963.

POLGAR, George. **Pulmonary function testing in children: techniques and standards**. Philadelphia: Saunders Philadelphia, 1971. ISBN 0721672671.

POLLOCK, Michel L.; WILMORE, Jack H. **Exercícios na saúde e na doença: avaliação e prescrição para prevenção e reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. ISBN 8527715023.

POWERS, Scott K.; HOWLEY, Edward T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 6.ed. Barueri: Manole, 2009.

QUEIROGA, Marcos R. **Testes e medidas para avaliação da aptidão física relacionada à saúde em adultos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

RASSLAN, Z.; SAAD JR, R.; STIRBULOV, R.; FABBRI, R.M. A.; LIMA, C.A.C. Avaliação da função pulmonar na obesidade graus I e II. **J. Bras. Pneumol.**, v. 30, n. 6, p. 508-14, 2004.

RASSLAN, Z.; STIRBULOV, R.; DA CONCEIÇÃO LIMA, C. A.; JÚNIOR, R. S. Função pulmonar e obesidade. **Rev. Bras. Clin. Med.**, v. 7, p. 36-9, 2009.

RATNOVSKY, A.; ELAD, D.; HALPERN, P. Mechanics of respiratory muscles. **Respir. Physiol. Neurobiol.**, v. 163, n. 1-3, p. 82-9, 2008.

RICIERI, D. V.; COSTA, J. R.; ROSÁRIO FILHO, N. A. Impacto da asma sobre a postura corporal de crianças entre 8 e 14 anos analisada pela biofotogrametria. **Acta Fisiátrica**, v. 15, n. 4, p. 214-9, 2008.

RICIERI, D.V.; ROSÁRIO FILHO, N.A. Impacto de fatores externos sobre a mecânica respiratória avaliada por um modelo fotogramétrico específico: biofotogrametria. **J. Bras. Pneumol.**, v. 34, n. 9, p. 702-6, 2008.

RICIERI, D.V.; ROSÁRIO FILHO, N.A. Efetividade de um modelo fotogramétrico para a análise da mecânica respiratória toracoabdominal na avaliação de manobras de isovolume em crianças. **J. Bras. Pneumol.**, v. 35, n. 2, p. 144-50, 2009.

RICIERI, DENISE V. **Princípios processuais da Biofotogrametria e sua adaptação para medidas em estudos sobre movimentos respiratórios toracoabdominais**. 2008. 184 p. Tese (Doutorado em Saúde da Criança e do Adolescente). Departamento de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.2008

RIPKA, W. L. et al. Biophotogrammetry Model of Respiratory Motion Analysis applied to child. **Annals of 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. San Diego: Proceedings of the 34th Annual International Conference of the IEEE EMBS 2012.

ROCHA, C.H.O.; PIORNO, J.L.; FREIRE, R.R.; MEDINA, IA. **Uma Discussão Histórica Sobre A Fotogrametria**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: < <http://mypage.iu.edu/~colallen/lp> >. Acesso em: 13 jun.

ROETENBERG, Daniel. **Inertial and magnetic sensing of human motion**. 2006. 126 p. (Philosophie Doctor). Universiteit Twente, Enschede.2006

ROMAGNOLI, I.; GORINI, M.; GIGLIOTTI, F.; BIANCHI, R.; LANINI, B.; GRAZZINI, M. et al. Chest wall kinematics, respiratory muscle action and dyspnoea during arm vs. leg exercise in humans. **Acta Physiol.**, v. 188, n. 1, p. 63-73, 2006.

ROMEI, M.; MAURO, A. L.; D'ANGELO, M. G.; TURCONI, A. C.; BRESOLIN, N.; PEDOTTI, A. et al. Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults. **Respir. Physiol. Neurobiol.**, v. 172, n. 3, p. 184-91, 2010.

SACCO, I. C. N.; ALIBERT, S.; QUEIROZ, B. W. C.; PRIPAS, D.; KIELING, I.; KIMURA, A. A. et al. Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores. **Rev. Bras. Fisioter.**, v. 11, n. 5, p. 411-7, 2007.

SANTOS, M. L. M.; ROSA, B. D.; FERREIRA, C. R.; MEDEIROS, A. A.; BATISTON, A. P. Maximal respiratory pressures in healthy boys who practice swimming or indoor soccer and in healthy sedentary boys. **Physiother. Theory Pract.**, p. 1-6, 2012.

SARRO, K. J.; SILVATTI, A. P.; BARROS, R. M. L. Metodologia para análise da movimentação da caixa torácica durante a respiração. **Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica**, 2003. p.132-6.

SBPT. (Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia) - Provas de função pulmonar em crianças e adolescentes. **J. Pneumol.**, v. 28, n. Supl 3, p. 207, 2002.

SCHENK, Toni F. **Digital Photogrammetry: Backgrounds, Fundamentals, Automatic Orientation Procedures**. Terra Science, 1999.

SILVA, D.A.S.; PELEGRINI, A.; PETROSKI, E.L.; GAYA, A.C.A. Comparison between the growth of Brazilian children and adolescents and the reference growth charts: data from a Brazilian project. **J. Pediatr.**, v. 86, n. 2, p. 115-20, 2010.

SILVA, S.; BEUNEN, G.; MAIA, J. References values of motor development in children and adolescents: a mixed-longitudinal study of Cariri. **Rev. Bras. Educ. Fís. Esp.**, v. 25, n. 1, p. 111-25, 2011.

SILVATTI, AP; SARRO, KJ; BARROS, RML. Análise de alterações de padrões de movimentação e volumes parciais do tronco em nadadores. **Anais do XIII Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP**, 2005. São Paulo.

SIMON, K.M.; CARPES, M.F. Avaliação da mobilidade torácica em crianças saudáveis do sexo masculino pela medição do perímetro torácico. **Fisioter. Pesq.**, v. 13, n. 2, p. 6-12, 2006.

SOBOTTA, Johannes. **Atlas of human anatomy: trunk, viscera and lower extremities**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

SUBBARAO, P.; LEBECQUE, P.; COREY, M.; COATES, A.L. Comparison of spirometric reference values. **Pediatr. Pulmonol.**, v. 37, n. 6, p. 515-22, 2004.

TEMBA, PLINIO. **Fundamentos da Fotogrametria**. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: < <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/leb450/Angulo/fotogrametria.pdf> >. Acesso em: 23 fev 2011.

THOMPSON, Morris M. **Manual of photogrammetry**. Falls Church: Va, 1966.

TIFFENEAU, R.; PINELLI, A. Air circulante et air captif dans l'exploration de la fonction ventilatrice pulmonaire. **Paris Med.**, v. 133, p. 624-8, 1947.

TIXA, Serge. **Atlas de Anatomia Palpatória do Pescoço, do Tronco e do Membro Superior**. São Paulo: Manole, 2000.

TOBIN, M. J.; CHADHA, T. S.; JENOURI, G.; BIRCH, S. J.; GAZEROGLU, H. B.; SACKNER, M. A. Breathing patterns. 1. Normal subjects. **Chest**, v. 84, n. 2, p. 202-5, 1983.

TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, J. F. C.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; DAL POZ, A. P.; MENEGUETTI JR, M. et al. **Fotogrametria: aplicações a curta distância**. In: MENEGUETE, M e ALVES, N., FCT 40 anos, Perfil Científico Educacional, 1999. Presidente Prudente, SP. p.147-59.

TRITSCHLER, Kathleen; BARROW, H.M.; MCGEE, R. **Medida e avaliação em educação física e esportes de Barrow & McGee**. 5.ed. São Paulo: Manole, 2003. ISBN 8520413102.

VERSCHAKELEN, J.A.; DEMEDTS, M.G. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 151, n. 2, p. 399-405, 1995.

WARD, M. E.; WARD, J. W.; MACKLEM, P. T. Analysis of human chest wall motion using a two-compartment rib cage model. **J. Appl. Physiol.**, v. 72, n. 4, p. 1338-47, 1992.

WEBSTER, JOHN G. **Medical instrumentation: application and design**. New Delhi: Wiley-India, 2009.

WELLS, J.C.K. Sexual dimorphism of body composition. **Best Pract. Res. Clin. Endocrinol. Metab.**, v. 21, n. 3, p. 415-30, 2007.

WEST, John B. **Fisiologia Respiratória**. 8.ed. São Paulo: Artmed, 2010.

WHO, MULTICENTRE GROWTH REFERENCE STUDY GROUP. **WHO Child Growth Standards: length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age**. Geneva: WHO, 2006.

WILMORE, Jack H.; COSTILL, David L. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 3.ed. São Paulo: Manole, 2001.

WILSON, T. A.; REHDER, K.; KRAYER, S.; HOFFMAN, E. A.; WHITNEY, C. G; RODARTE, J. R. Geometry and respiratory displacement of human ribs. **J. Appl. Physiol.**, v. 62, n. 5, p. 1872-7, 1987.

WU, Y.; ZHANG, Z.; GANG, B.; LOVE, E. J. Predictive equations for lung function based on a large occupational population in North China. **J. Occup. Health**, v. 51, n. 6, p. 471-7, 2009.

ZIN, W.A.; ROCCO, P.R.M.; FAFFE, D.S. **Fisiologia da Respiração**. In: AIRES, M. M. (Ed.). *Fisiologia*. 3. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, v.1, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Assentimento encaminhado aos pais ou responsáveis

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Seu filho (a) está sendo convidado (a) a participar da pesquisa Análise Fotogramétrica Para Predição De Volume E Comportamento Respiratório. O objetivo desse estudo é a comparação entre os resultados obtidos com um protocolo de análise de superfície do tórax e do abdômen com valores respiratórios obtidos com um equipamento padrão do mercado.

Os procedimentos para coleta de dados serão via questionário, teste respiratório e captura de imagem, com duração máxima de 20 minutos, não sendo necessária a reavaliação. O questionário inclui perguntas do nível de atividade física, data de nascimento e histórico de doenças respiratórias (asma e bronquite). O teste respiratório consiste em manobras de inspiração e expiração máxima em um equipamento denominado espirômetro.

A coleta de dados será feita de maneira individual nas dependências do Laboratório de Ergonomia (LAERG) na Universidade Tecnológica Federal do Paraná e serão acompanhadas pela professora coordenadora responsável pelo LAERG, os testes seguirão todos os protocolos internacionais necessários. Ao final das avaliações os senhores responsáveis receberão um relatório sobre as medidas encontradas e as médias gerais. Caso autorize a realização do estudo, o avaliado deverá trajar apenas shorts ou calças para meninos e para as meninas pede-se o uso de *collant*, maiô ou roupas justas ao corpo para o dia da avaliação. Será disponibilizado um vestiário, caso se faça necessário.

Esta pesquisa oferece uma solução de baixo-custo para a análise de volumes e comportamentos respiratórios, uma vez que, os serviços de saúde teriam condições de realizar o acompanhamento pelo método proposto. É garantido o sigilo quanto às todas as imagens coletadas. Após a coleta e tratamento dos dados, todas as imagens permanecerão armazenadas no computador pessoal do pesquisador responsável pela pesquisa, podendo ser penalizado por qualquer extravio destas.

Você poderá receber qualquer tipo de informação sobre a pesquisa a qualquer momento. Você é livre para recusar a participação do (a) seu (a) filho (a), retirar o consentimento ou interromper a participação a qualquer momento, sem acarretar qualquer tipo de penalidade.

Os pesquisadores irão tratar com total sigilo as identidades com padrões profissionais. Os resultados permanecerão confidenciais e não serão divulgados nomes em qualquer publicação que possa resultar do estudo. A participação não necessita de nenhum investimento por parte dos voluntários, assim como não haverá compensações financeiras.

Qualquer dúvida quanto ao projeto pode ser esclarecidas via e-mail ou telefone do pesquisador responsável posto ao final deste termo, assim como poderá ser marcado reuniões para esclarecimentos pessoalmente. Pesquisador responsável: Mestrando Wagner Luis Ripka, email: ripka.w@gmail.com, endereço: Av. da República, 6331 – Curitiba/PR, Telefones: (41) 8492-8871 – (41) 3248-6865 – currículo <http://lattes.cnpq.br/3480837014205533>

CONSETIMENTO DE PARTICIPAÇÃO

Eu, _____, RG _____, abaixo assinado, concordo com a participação do meu filho (a) _____ no estudo **Análise Fotogramétrica Para Predição De Volume E Comportamento Respiratório**. Fui devidamente informado e esclarecido sobre a pesquisa pelo pesquisador e os procedimentos nela envolvidos. Foi-me garantido que posso retirar o consentimento a qualquer momento, sem que isso leve a qualquer penalidade.

CURITIBA, _____ de _____, 2012.

Assinatura do responsável

Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como um paciente de pesquisa, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo telefone 3360-7251. O CEP é constituído por um grupo de profissionais de diversas áreas, com conhecimentos científicos e não científicos que realizam a revisão ética inicial e continuada da pesquisa para mantê-lo seguro e proteger seus direitos.

APÊNDICE B – Ficha de coleta para os dados gerais

<u>FICHA AVALIAÇÃO</u>		Código: _____
Nome: _____	Idade: _____	Dt Nascimento: ____ / ____ / ____
Sexo: <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino		

AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA		
Peso: _____ kg	Estatura: _____ m	IMC: _____ kg/m ² Tórax: _____ cm
Tríceps: _____	Subescapular: _____	

Dados Gerais		
Email: _____		
Histórico respiratório: _____		

Data Avaliação: ____ / ____ / ____		

APÊNDICE C – Correlação entre as variáveis antropométricas e valores da prova de função pulmonar distinta por gênero.

Masculino					
Variáveis	VEF₁	CVF	PFE	Tiffeneau	IP
Idade	0,074	0,130	0,241	-0,091	0,081
Massa corporal	0,587*	0,665*	0,505*	0,163	0,658*
Estatura	0,443*	0,604*	0,513*	-0,095	0,615*
IMC	0,426*	0,440	0,445	0,207	0,424
Tórax	0,634*	0,732*	0,608*	0,135	0,683*
Gordura	0,354	0,274	0,375	0,314	0,223

Feminino					
Variáveis	VEF₁	CVF	PFE	Tiffeneau	IP
Idade	0,448*	0,433*	0,304	0,251	0,390
Massa corporal	0,474*	0,556*	0,339	0,087	0,334
Estatura	0,688*	0,695*	0,523*	0,309	0,440*
IMC	0,138	0,224	0,079	-0,076	0,177
Tórax	0,409*	0,568*	0,245	-0,078	0,534*
Gordura	0,539*	0,491*	0,535*	0,351	0,239

APÊNDICE D – Correlação entre as razões da mobilidade com os valores obtidos em prova respiratória

Variáveis		Razão Total	Razão Abdominal	Razão Torácica	Razão TXS	Razão TXI	Razão ABS	Razão ABI
VEF₁	<i>r</i>	-,462**	-,324*	-,404**	-,015	-,486**	-,346*	-,230
	<i>p</i>	,003	,042	,010	,926	,001	,029	,152
CVF	<i>r</i>	-,601**	-,408**	-,530**	-,058	-,620**	-,332*	-,352*
	<i>p</i>	,000	,009	,000	,722	,000	,036	,026
PFE	<i>r</i>	-,519**	-,258	-,498**	-,117	-,628**	-,265	-,207
	<i>p</i>	,001	,109	,001	,474	,000	,098	,199
Tiffeneau	<i>r</i>	,205	,066	,209	,104	,212	-,132	,151
	<i>p</i>	,205	,684	,195	,525	,190	,416	,353
FEF25	<i>r</i>	-,447**	-,249	-,419**	-,079	-,549**	-,270	-,200
	<i>p</i>	,004	,122	,007	,628	,000	,092	,215
IP	<i>r</i>	-,617**	-,421**	-,539**	-,053	-,639**	-,308	-,379*
	<i>p</i>	,000	,007	,000	,745	,000	,053	,016

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

APÊNDICE E – Regressão Linear para predição da IP

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,881 ^a	,776	,756	,45132

a. Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Tórax, Estatura.

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	23,303	3	7,768	38,134	,000 ^a
	Residual	6,722	33	,204		
	Total	30,024	36			

b. Dependent Variable: IP

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-6,373	2,097		-3,039	,005
	Estatura	3,751	1,194	,388	3,142	,004
	Tórax	,122	,050	,254	2,460	,019
	Mobilidade Vol.	,163	,059	,372	2,762	,009

a. Dependent Variable: IP

APÊNDICE F – Teste de regressão Linear para predição da CVF

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,931 ^a	,866	,854	,35334

a. Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Tórax, Estatura

ANOVA^b						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	26,658	3	8,886	71,176	,000 ^a
	Residual	4,120	33	,125		
	Total	30,778	36			

b. Dependent Variable: CVF

Coefficients^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-8,572	1,642		-5,221	,000
	Estatura	5,108	,935	,521	5,466	,000
	Torax	,138	,039	,282	3,538	,001
	Mobilidade Vol.	,120	,046	,269	2,580	,015

a. Dependent Variable: CVF

APÊNDICE G – Teste de regressão para predição de CVF com variáveis antropométricas

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,933 ^a	,871	,843	,36202

a. Predictors: (Constant), %Gordura, DIF.Vol.TT, Idade, Tórax, Estatura, IMC, Massa Corporal

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	28,287	7	4,041	30,834	,000 ^a
1 Residual	4,194	32	,131		
Total	32,481	39			

b. Dependent Variable: CVF

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-2,141	8,624		-,248	,805
1 Estatura	1,459	5,312	,149	,275	,785
1 Tórax	,141	,052	,289	2,717	,011
1 Mobilidade Vol.	,096	,053	,213	1,811	,080
1 IMC	-,172	,215	-,658	-,803	,428
1 Massa Corporal	,057	,074	,772	,771	,446
1 Idade	-,038	,063	-,041	-,611	,546
1 %Gordura	,021	,016	,152	1,342	,189

a. Dependent Variable: CVF

APÊNDICE H – Teste de regressão linear para o grupo masculino

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,836 ^a	,698	,633	,47064

A Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Estatura, Tórax

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	7,172	3	2,391	10,793	,001 ^a
1 Residual	3,101	14	,222		
Total	10,273	17			

a. Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Estatura, Tórax

b. Dependent Variable: CVF

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-7,807	3,203		-2,438	,029
Estatura	3,931	1,721	,372	2,284	,038
1 Tórax	,198	,074	,512	2,695	,017
Mobilidade Vol.	,062	,080	,155	,782	,049

a. Dependent Variable: CVF

APÊNDICE I – Teste de regressão linear para o grupo feminino

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,864 ^a	,747	,705	,26731

a. Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Torax, Estatura

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	3,797	3	1,266	17,711	,000 ^a
	Residual	1,286	18	,071		
	Total	5,083	21			

a. Predictors: (Constant), DIF.Vol.TT, Tórax, Estatura

b. Dependent Variable: CVF

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	-8,586	2,114		-4,062	,001
	Estatura	5,023	1,375	,473	3,653	,002
	Tórax	,129	,040	,403	3,274	,004
	Mobilidade Vol.	,245	,088	,348	2,773	,013

a. Dependent Variable: CVF

APÊNDICE J – Teste de regressão linear com a utilização apenas da estatura como variável independente

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,838 ^a	,702	,694	,50456

a. Predictors: (Constant), Estatura

ANOVA^b

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	22,807	1	22,807	89,587	,000 ^a
	Residual	9,674	38	,255		
	Total	32,481	39			

a. Predictors: (Constant), Estatura

b. Dependent Variable: CVFdeitado

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-9,764	1,442		-6,770	,000
	Estatura	8,191	,865	,838	9,465	,000

a. Dependent Variable: CVFdeitado

ANEXOS

ANEXO A – Parecer consubstanciado do Comitê de Ética e Pesquisa

Plataforma Brasil - Ministério da Saúde

Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências da Saúde/ SCS - UFPR

PROJETO DE PESQUISA

Título: ANÁLISE FOTOGRAMETRICA PARA PREDIÇÃO DE VOLUME E COMPORTAMENTOS RESPIRATÓRIOS

Área Temática:

Pesquisador: Wagner Luis Ripka

Versão: 3

Instituição: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ ((UTFPR))

CAAE: 01655012.6.0000.0102

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Número do Parecer: 61832

Data da Relatoria: 27/07/2012

Apresentação do Projeto:

O presente projeto de pesquisa tem por objetivo desenvolver uma técnica de avaliação de parâmetros respiratórios em adolescentes de ambos os sexos por meio da análise de imagens fotográficas. Trata de um estudo exploratório quantitativo. Participarão 50 adolescentes de ambos os sexos com idade entre 14 e 18 anos que atenderem aos critérios de inclusão. Serão realizadas avaliações antropométricas e respiratórias. Um coleta de imagens (fotos) será realizada e posteriormente serão analisadas em software específico. Um modelo geométrico será criado a partir de marcadores de superfície que possibilitarão o cálculo de áreas em compartimentos tronco abdominais em inspiração e expiração máxima. A partir da análise dos resultados pretende-se obter valores de referência para análise volumétrica para ambos os sexos. O presente projeto conta com apoio financeiro da CAPES.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo geral deste estudo consiste em correlacionar volumes respiratórios obtidos por equipamentos padrões com um modelo biomecânico de análise de fotogrametria em adultos sem obstruções ou restrições respiratórias.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O pesquisador relata que a pesquisa não apresenta riscos por se tratar de procedimento não invasivo. No entanto, destaca que as avaliações serão individuais e em local reservados para evitar constrangimentos aos avaliados. O benefício indireto da pesquisa será a oferta de uma solução de baixo custo para a análise de volumes e comportamentos respiratórios que poderá ser aplicado nos serviços de saúde.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Em vários momentos da apresentação deste documento os procedimentos são apresentados como uma pesquisa já realizada. As ações são descritas no passado, fato que nos leva a crer que a mesma já foi realizada. Desta forma, é importante ressaltar que este comitê não analisa projetos de pesquisa já realizados integralmente ou parcialmente.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Não é apresentado pelo pesquisador o termo de assentimento, como os participantes serão adolescentes este documento será necessário. Quanto ao TCLE, a linguagem não está acessível visto que o estudo é apresentado com uma terminologia essencialmente técnica. Além disso, falta o nome do pesquisador responsável, formas de contato (telefone, local e horário). Devem constar no TCLE o número de sessões de avaliação e a duração aproximada das mesmas. No parecer de mérito é necessário a identificação do analista, titulação e instituição a que pertence. Os participantes terão idade entre 14 e 17 anos ou 14 e 18 anos? Não há material biológico (rever declaração de uso específico); na declaração de tornar público os resultados consta que a pesquisa será realizada no período de 25/05 de 2012 a 25/06/2012, não compatível com os trâmites do projeto. Há vários

conflitos de datas para início da pesquisa, em alguns momentos o pesquisador se refere aos procedimentos já realizados (passado) em outros estipula data incompatível com o período de trâmite do projeto. O pesquisador não descreveu a infraestrutura para realização da pesquisa.

Recomendações:

sem recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

As pendências apontadas no parecer anterior foram totalmente atendidas.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CURITIBA, 27 de Julho de 2012

Assinado por:
Claudia Seely Rocco